



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

PIENEMPI HIILIJALANJÄLKI VIHREÄLLÄ LATTIABETONILLA

TEKIJÄ/T: Noora Tuomainen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Noora Tuomainen	
Työn nimi Pienempi hiilijalanjälki vihreällä lattiabetonilla	
Päiväys 7.5.2013	Sivumäärä/Liitteet 46/10
Ohjaaja(t) Pt. tuntiopettaja Juha Pakarinen, Lehtori Matti Mikkonen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Rudus Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Vihreällä betonilla tarkoitetaan ympäristöystävällisempää betonia, jossa hiilidioksidipäästöt ovat jopa 50 % pienemmät kuin normaalilla betonilla. Vihreänä betonina voidaan valmistaa lähes kaikkia betonilaatuja. Tässä opinnäytetyössä on keskitytty vihreisiin lattiabetoneihin. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia vihreän lattiabetonin ominaisuuksia verraten niitä normaaliin lattiabetoniin. Rudus Oy toi markkinoille vihreän betonin keväällä 2012 ja sitä koskeva tutkimustieto on vähäistä.</p> <p>Tutkittaviksi ominaisuuksiksi määriteltiin puristuslujuus, kulutuskestävyys, kuivuminen ja vesitiiviys. Näiden ominaisuuksien tutkimista varten tehtiin koekappaleita ja -laattoja. Vihreässä betonissa käytettiin 60–75 % masuunikuonaa kokonaissideainemäärästä, kun taas vertailukohtana käytettävässä normaalissa lattiabetonissa sideaineena käytettiin vain sementtiä. Tutkimuksia varten tehdyt koekappaleet ja -laatat tehtiin Rudus Oy:n valmisbetonitehtaalla, jossa suoritettiin myös puristuslujuuden testaukset. Kuivumisen ja vesitiiviyyden testaukset toteutettiin Savonia-ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikön laboratoriossa. Kulutuskestävyyden testaukset teetettiin VTT Expert Services Oy:llä Espoon Otaniemessä. Koekappaleita ja -laattoja valmistaessa testattiin myös tuoreen betonin ominaisuuksia lämpötilamittauksen ja painuman avulla.</p> <p>Opinnäytetyössä käsiteltyjä ominaisuuksia tutkimalla saatiin runsaasti uutta tietoa vihreästä lattiabetonista. Vihreän lattiabetonin työstettävyys on parempi normaaliin lattiabetoniin verrattuna. Sen vesitiiviys on hyvä verrattuna sallittuihin maksimiarvoihin. Vihreä lattiabetoni tarvitsee kuitenkin pidemmän rakennusajan sen pienen varhaislujuuden vuoksi, vaikka kyse onkin lyhyestä ajanjaksosta. Saatujen tutkimustulosten mukaan vihreä lattiabetoni on kokonaisuudessaan kilpailukykyinen betonilaatu.</p> <p>Työssä saatuja tuloksia voidaan käyttää apuna Rudus Oy:n markkinoissa ja myynnissä. Tämä opinnäytetyö toimii hyvänä pohjana vihreän lattiabetonin jatkotutkimuksille.</p>	
<p>Avainsanat</p> <p>Vihreä betoni, kulutuskestävyys, suhteellinen kosteus, puristuslujuus, vesitiiviys</p>	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Noora Tuomainen			
Title of Thesis Shorter carbon footprint by using Green Concrete			
Date	7 May 2013	Pages/Appendices	46/10
Supervisor(s) Mr. Juha Pakarinen, Lecturer Mr. Matti Mikkonen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Rudus Oy			
<p>Abstract</p> <p>Green concrete is the name for eco-friendly concrete in which the carbon dioxide emission is almost 50 per cent lower than normal concrete. As green concrete almost all kind of concretes can be producted. This thesis concentrated on green floor concrete. The purpose of this thesis was to explore the properties of green concrete compared to normal concrete. Rudus Oy brought to the market green concrete in the spring 2012 and the knowledge of it is still limited.</p> <p>The examined properties were compression strength, abrasion resistance, drying and water resistance. To explore these properties test parts and tiles were made. In the green concrete blast-furnace slag covered 60–75 per cent of the total amount of the binder while in the normal concrete only cement was used as the binder. The test parts and tiles for the exams were made in the concrete factory Rudus Oy where the test of compression strength was also made. The tests of drying and water resistance were made in the Technology unit of Savonia University of Applied Sciences. The tests of abrasion resistance were made by VTT Expert Services Oy in Otaniemi, Espoo. While making the test parts and tiles the properties of the fresh concrete were also tested by temperature measuring and slump testing.</p> <p>By exploring these properties a lot of new information of the green concrete was achieved. The workability of green floor concrete was better than the normal floor concrete. Its water resistance was good compared to the permissible maximum values. However, the study proved that the green floor concrete needs the longer construction period because of its lower early strength even though in this point the difference is small compared to the normal floor concrete. The results indicated the green floor concrete to be competitive quality. These results can be used in the marketing and selling in Rudus Oy. This thesis offers a good basis for further research of the green concrete.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Green Concrete, abrasion resistance, relative humidity, compression strength, water resistance</p>			

ESIPUHE

Haluan kiittää Rudus Oy:tä yhteistyöstä ja mahdollisuudesta opinnäytetyön tekoon. Erityisesti haluan osoittaa kiitokseni Ruduksen Kuopion valmisbetonitehtaan työntekijöille, jotka ovat toimineet suurena apuna koko opinnäytetyöprosessin ajan. Ilman heidän tarjoamaansa tietoa ja taitoa olisi prosessi ollut mahdoton toteuttaa.

Kiitos myös Savonia-ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikön ohjaajille ja laboratorion henkilökunnalle. Heiltä olen saanut paljon tietoa ja konkreettista apua kokeiden toteutuksessa.

Haluan kiittää myös perhettäni ja ystäviäni avusta ja tuesta opinnäytetyöprojektin aikana.

Kuopiossa 2013

Noora Tuomainen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
1.1	Tausta ja tavoitteet	7
1.2	Rudus Oy	7
2	BETONI JA VIHREÄ BETONI	9
2.1	Betoni	9
2.1.1	Sementti	9
2.1.2	Kiviaines	11
2.1.3	Vesi	11
2.1.4	Lisäaineet	11
2.1.5	Seosaineet	12
2.2	Vihreä betoni	13
2.2.1	Sementin vaikutus	14
2.2.2	Kiviaineiden vaikutus	16
2.2.3	Kuljetukset	16
2.2.4	Valmistustekniikka	16
2.2.5	Vihreiden betonien ominaisuudet	16
3	BETONILATTIOIDEN LAATUTEKIJÄT	18
3.1	Tasaisuus	18
3.2	Kulutuskestävyys	19
3.3	Muut laatutekijät	19
3.3.1	Lujuus	19
3.3.2	Paksuuspoikkeamat	20
3.3.3	Raudituksen sijainnin vaihtelut	20
3.3.4	Lattiaan kiinnitetyn pintabetonin tartunta	20
3.4	Luokittelemattomat laatutekijät	21
3.4.1	Betonilattian kuivuminen	21
3.4.2	Kemiallinen kestävyys	21
3.4.3	Säänkestävyys	21
3.4.4	Vesitiiviys	22
3.4.5	Pinnan karheus	22
3.4.6	Sähkönjohtavuus	22

3.4.7	Betonilaatan ulkonäkö	22
4	TYÖSSÄ KÄYTETYT TUTKIMUSMENETELMÄT	23
4.1	Toteutus	23
4.2	Tuoreen betonin testaus ja työstettävyys	24
4.3	Kulutuskestävyyden mittaus	25
4.3.1	Kulutuskestävyyden mittausmenetelmä	25
4.4	Puristuslujuuden mittaus	26
4.4.1	Rikkiseosmenetelmä	26
4.5	Betonin suhteellisen kosteuden mittaus	27
4.5.1	Porareikämenetelmä	28
4.6	Betonin vesitiiviyyden mittaus	31
4.6.1	Paineellisen vedentunkeuman testaus	31
5	TUTKIMUSTEN TULOKSET	33
5.1	Tuoreen betonin testaus	33
5.2	Kulutuskestävyys	34
5.3	Puristuslujuus	36
5.4	Betonin suhteellinen kosteus	37
5.5	Betonin vesitiiviys	41
5.6	Hiilijalanjälkilaskelmia	43
6	POHDINTA JA YHTEENVETO	45
	LÄHTEET	46
	LIITTEET	

Liite 1. Betonirakenteiden kuivumisen laskenta, kun vesisideainesuhde 0,63

Liite 2. Betonirakenteiden kuivumisen laskenta, kun vesisideainesuhde 0,73

Liite 3. Veitiiviyyden tutkimusraportti

Liite 4. Kulutuskestävyyden tutkimusraportti

1 JOHDANTO

1.1 Tausta ja tavoitteet

Ajatus opinnäytetyöhön syntyi kesällä 2012, kun olin työharjoittelussa valmisbetonin laadunvalvojana Rudus Oy:n valmisbetonitehtaalla. Opinnäytetyön aiheen sain uudesta betonilaadusta, vihreästä betonista. Vihreää betonia ei ole vielä tutkittu laajasti, sillä se on tuotu markkinoille vasta keväällä 2012. Tämän vuoksi valitsimme sen opinnäytetyöni tutkimuskohteeksi. Vihreänä betonina voidaan valmistaa lähes kaikkia betonilaatuja. Tässä opinnäytetyössä keskitytään vihreän lattiabetonin tutkimiseen.

Vihreällä betonilla tarkoitetaan ympäristöystävällisempää betonia, jonka hiilijalanjälki on huomattavasti normaalia betonia pienempi. Vihreää betonia voidaan saada aikaan monella tavalla. Erityisesti Väli-Suomen alueella vihreää betonia tehdään korvaamalla suurin osa sementistä masuunikuonalla. Betonin "vihreyteen" vaikuttavat myös kuljetusmatkat, valmistustekniikka ja muut materiaalivalinnat.

Opinnäytetyön tavoitteena on tutkia vihreän lattiabetonin toimivuutta erilaisten kokeiden avulla. Vihreälle lattiabetonille tehtäviä kokeita ovat puristuslujuuden määrittäminen, kuivumisen seuranta suhteellisen kosteuden avulla ja kulutuskestävyyden mittaaminen. Lisäksi tutkimme betonin vesitiivyyttä paineellisen vedentunkeuman -kokeella. Edellä mainitut tutkimukset ovat oleellisia lattiabetonin laadun kannalta.

Opinnäytetyö tehdään suurimmaksi osaksi Rudus Oy:n valmisbetonitehtaalla. Kulutuskestävyyttä ja laatan kuivumista testataan koelaattojen avulla. Koelaattoja tehdään viisi erilaista; yksi normaalista lattiabetonista vertailun vuoksi ja neljä vihreästä lattiabetonista eri masuunikuonamäärillä. Kulutuskestävyyden testaa VTT Expert Services Oy Espoon Otaniemessä ja kuivumista seurataan Savonia-ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Koelaattojen lisäksi puristuslujuuden ja vesitiivyyden määrittämistä varten tehdään koekappaleita jokaisesta suhteutuksesta.

Opinnäytetyössä tehtävien tutkimusten tuloksia voidaan soveltaa koko Rudus-konsernin valmisbetonituotannossa, joka käsittää yli 60 valmisbetonitehdasta. Vihreästä betonista ei ole aiemmin tehty vastaavia tutkimuksia, joten työstä saatavilla tutkimustuloksilla on suuri merkitys yrityksen toiminnalle.

1.2 Rudus Oy

Rudus Oy toimittaa kiviainepohjaisia rakennusmateriaaleja niin yrityksille kuin yksityisille tahoille. Se on perustettu vuonna 1897 Lohjan Kalkkitehdas Osakeyhtiön nimellä. Kiviainestoinnin se aloitti vuonna 1939, kun se osti Oy Rudus Ab:n osake-enemmistön. Valmisbetonin tuotannon yritys aloitti ensimmäisenä Suomessa vuonna 1958. Nykyisen nimensä Rudus Oy otti käyttöön vuoden 2008 alussa. (Rudus Oy.)

Rudus Oy toimii Suomessa, Baltiassa ja Venäjällä. Se on kuulunut vuodesta 1999 lähtien irlantilaiseen CRH plc -konserniin. Vuonna 2011 Rudus Oy:n liikevaihto oli 350 miljoonaa euroa ja tällä hetkellä se työllistää noin 950 alansa ammattilaista. Rudus Oy:n toimialoihin kuuluvat kiviaineet, murskausurakointi, kierrätys, valmisbetoni ja betonituotteet. Ruduksella on betonituotetehtaita noin 15 sekä sora-alueita ja kalliolouhoksia noin 130. Lisäksi yrityksellä on yli 60 valmisbetonitehdasta ympäri Suomea. Näiden avulla se takaa nopeat toimitukset ja lyhyet toimitusmatkat. (Rudus Oy.)



Kuva 1. Rudus Oy:n logo. Lupa kuvan käyttöön saatu.

2 BETONI JA VIHREÄ BETONI

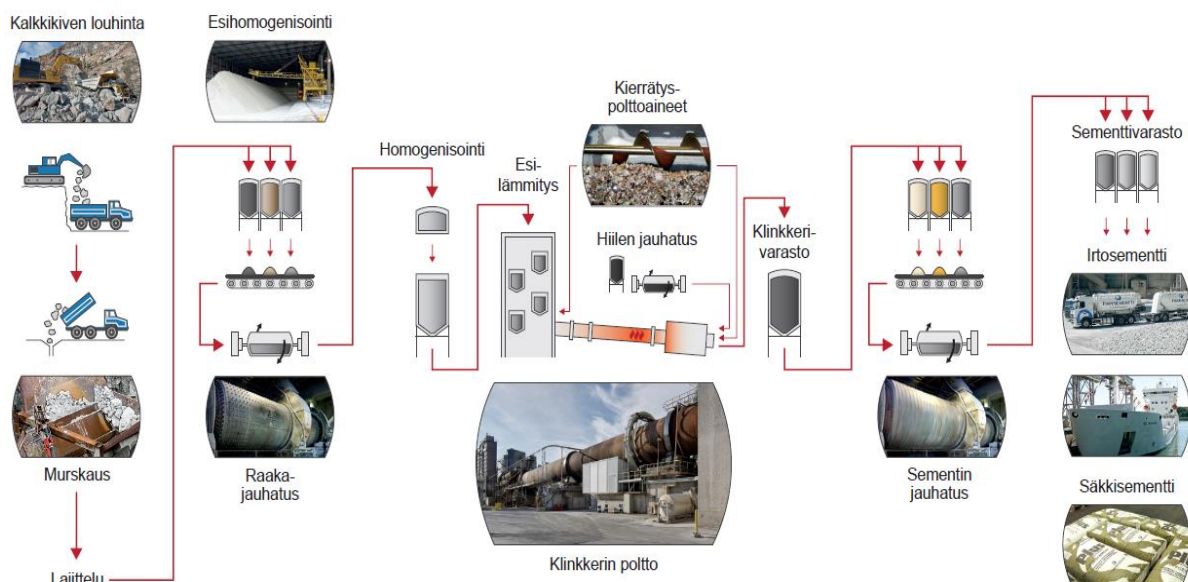
2.1 Betoni

Betoni on maailmassa eniten käytetty rakennusmateriaali. Se on niin sanottua keinotekoista kiveä. Sitä valmistetaan koko maailmassa noin 5 miljardia tonnia vuodessa ja Suomessa vastaava luku on 125 miljoonaa tonnia (Betoni). Betonia voidaan käyttää niin talonrakentamisessa kuin infrarakentamisessakin. Se sopii talojen runkomateriaaliksi, ala-, väli- ja yläpohjiin, julkisivuihin, tukimuureihin, siltoihin ja moniin muihin tarkoituksiin. Betonia käytetään sekä paikalla valettaessa että tehtaalla valmistettavina elementteinä. Käyttökohteen ja ympäristöolosuhteiden mukaan betonille määrätään rasitusluokka. Rasitusluokan valintaan vaikuttaa esimerkiksi alttius karbonatisoitumisen vaikutuksesta aiheutuvalle korroosiolle tai jäätymis-sulatusrasitukselle. (Suomen Betoniyhdistys 2004, 15; Suomen Betoniyhdistys 2012, 88.)

Betoni koostuu sementistä, kiviaineista ja vedestä sekä todennäköisistä lisä- ja seosaineista. Betonin sideaineina voivat toimia sementti ja seosaineet, joiden ansiosta betoni kestää ja sen halutut ominaisuudet saadaan esiin. Se valmistetaan betonimyllyssä, joko pienessä käsimyllyssä tai valmisbetoniasemilla olevilla suurilla betonimyllyillä, joilla kaikki betonin osa-aineet sekoitetaan yhteen valmiiksi betonimassaksi. Suhteituksella on tärkeä rooli betonin ominaisuuksien määrittämisessä. Suhteituksessa valitaan betonissa käytettävät osa-aineet ja niiden seossuhteet. Haluttuja ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi tuoreen betonin työstettävyyden parantaminen tai kovettuneen betonin lujuuden, tiiveyden ja säilyvyysominaisuuksien parantaminen. (Suomen Betoniyhdistys 2004, 31.)

2.1.1 Sementti

Suomessa sementti valmistetaan kuivamenetelmällä. Sen pääraaka-aine on kalkkikivi, joka koostuu pääosin kalsiumkarbonaatista. Muita sementin raaka-aineita ovat piioksidi, rautaoksidi ja alumiinioksidi. Aluksi kalkkikivi louhitaan, murskataan ja lajitellaan. Kalkkikiven sekaan sekoitetaan muut raaka-aineet ja seos jauhetaan kuulamyllyllä hienoksi jauheeksi. Jauhe homogenisoidaan, esilämmitetään ja syötetään klinkkeriuuniin, joka sintraa seoksen klinkkeriksi 1 400 °C:n lämpötilassa. Seos jauhetaan kuulamyllyssä ja siihen lisätään tarvittaessa seosaineita. Kipsiä lisätään säätämään sementin sitomisaikaa. Sementin valmistuksen vaiheet on esitetty tarkemmin kuvassa 2. (Finnsementti.)



Kuva 2. Sementin valmistus vaiheittain. Kuva Finnsementti. Lupa kuvan käyttöön saatu.

Sementti on tärkein betonin raaka-aineista. Hetken kuluttua sementin ja veden sekoituksesta alkaa sitoutuminen, jolloin betonimassa kiinteytyy entisestään ja lopulta kovettuu. Tämä on sementin ansiota. Sitoutumisaika riippuu käytettävän sementin koostumuksesta ja hienoudesta. Myös lämpötilalla on tärkeä merkitys sitoutumisessa: Jos lämpötila nousee 10 astetta, sitoutumisaika puolittuu. Kylmä ilma taas hidastaa sementin sitoutumista selvästi. (Suomen Betoniyhdistys 2004, 50–51.)

Sementin koostumus- ja laatuvaatimukset on esitetty standardissa SFS-EN 197-1. Finnsementti valmistaa koostumukseltaan ja lujuudeltaan erilaisia sementtilaatuja. Seuraavassa taulukossa on esitetty sementtilaatujen koostumusvaatimukset. (Finnsementti.)

Taulukko 1. Sementtilaatujen koostumusvaatimukset (Finnsementti)

Sementtilaatu	Koostumusvaatimukset					
	Klinkkeri	Kuona	Silika	Lentotuhka	Kalkkikivi	Muut
CEM I	95-100	-	-	-	-	0-5
CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	0-5
CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	0-5
CEM II/A-D	90-94	-	6-10	-	-	0-5
CEM II/A-V	80-94	-	-	6-20	-	0-5
CEM II/B-V	65-79	-	-	21-35	-	0-5
CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	6-20	0-5
CEM II/A-M	80-94	6-20	6-20	6-20	6-20	0-5
CEM II/B-M	65-79	21-35	21-35	21-35	21-35	0-5
CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	0-5
CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	0-5

2.1.2 Kiviaines

Betoni koostuu pääosin erikokoisista kiviaineista. Niiden tilavuusosuus betonista on noin 65–80 %:a. Tästä syystä kiviaineksen ominaisuudet määrittävät myös betonin ominaisuuksia. Betonin kiviaineiksi kelpaavat lähes mitkä tahansa kiviaineet, jotka ovat riittävän lujia ja tiiviitä ja jotka eivät vaikuta sementin reaktioihin tai betonin säilyvyyteen laskevasti. Käytettävät kiviainekset ovat yleensä luonnon muokkaamia tai koneellisesti murskattuja, tavallisia tai raskaita malmipitoisia tai kevyitä vulkaanisia kiviaineita. Betonin kiviaineksina voidaan käyttää myös kevytsoraa tai tiili- ja betonimurskaa. Betoniin käytettävä kiviaines ei saa sisältää aineita, jotka voivat vaikuttaa laskevasti tuoreen tai kovettuneen betonin tai raudoituksen ominaisuuksiin, eivätkä ne saa olla rapautuneita. Kiviaines ei saa myöskään sisältää roskia, öljyä tai jätettä eikä lunta, jäätä tai jäätyneitä kiviainespaukkuja. (Suomen Betoniyhdistys 2004, 31.)

Betonissa käytettävän kiviaineksen tulee olla standardin SFS-EN 12620 -mukaisia, CE-merkittyjä ja -tarkistettuja. Jos kiviaines ei ole CE-merkitty, betonin valmistajan täytyy huolehtia siitä, että standardiin liittyvät laadunvalvontatoimet on tehty. (Suomen Betoniyhdistys 2012, 99.)

2.1.3 Vesi

Betoniin käytettäväksi vedeksi kelpaa juomakelpoinen vesijohtovesi. Veden pitää olla riittävän puhdasta, ettei betoniin joudu sille vahinkoa aiheuttavia aineita. Erityisesti humuspitoisia suovesiä ei voi käyttää betonin valmistukseen, sillä ne ovat happamia ja sisältävät usein sulfideja, sulfaatteja ja humusta, jotka voivat estää betonin kovettumisen. Sama lopputulos tulee myös, jos betoniin joutuu pieniäkään määriä sokeria. Betonissa käytettävä vesi ei saa sisältää klorideja enempää kuin 0,03 painoprosenttia eikä myöskään öljyä tai rasvoja, sillä ne voivat hankaloittaa sementin hydratoitumista. Veden kelpoisuuden voi selvittää sitoutumisiskokeella tai tarkalla veden kemiallisella analyysillä. (Suomen Betoniyhdistys 2004, 62.)

2.1.4 Lisäaineet

Lisäaineilla voidaan säädellä tuoreen ja kovettuneen betonin ominaisuuksia sekä betonin sitoutumista. Lisäaineiden määrät betonissa ovat hyvin pieniä muihin osa-aineisiin verrattuna. Lisäaineita ovat notkistimet, huokostimet, pakkasenkestävyyttä parantavat aineet, kiihdyttimet, hidastimet, tiivistysaineet, injektointiaineet ja muut lisäaineet. Näistä yleisimpiä ja tunnetuimpia ovat notkistimet ja huokostimet. (Suomen Betoniyhdistys 2004, 63.)

Notkistimet

Notkistimen määrä betonimassassa on noin 0,2–2,0 % sementin painosta (BASF). Notkistimet parantavat betonimassan teknisiä ja taloudellisia ominaisuuksia. Niiden avulla voidaan päästä huomattavasti pienempiin vesisementtisuhteisiin ja samalla työstettävyys paranee ja betonin lujuus nousee. Lisäaineiden toimivuuteen vaikuttavat notkistimen laatu, määrä, käytettävä sementti ja sen määrä, seosaineet, hienoaineksen määrä, lämpötila ja sekoitusteho. (Suomen Betoniyhdistys 2004, 65; Finnsementti.)

Huokostimet

Huokostamaton betoni sisältää noin 1-2 % eli 10-20 dm³/m³ ilmaa. Kun betonin pakkaskestävyyttä halutaan parantaa, sen ilmamäärä nostetaan 4-8 %:n huokostimen avulla. Normaalisti betoniin annostellaan huokostinta erittäin pieni määrä, eli vain noin 0,01-0,03 % sideaineen määrästä. Huokostin muodostaa erittäin pieniä ilmakuplia, niin sanottuja suojahuokosia, betonin sekaan. Suojahuokosten tehtävänä on vastaanottaa betonin sisältämän veden jäätyminen aiheuttama paine siten, ettei betoni halkeile. Huokosilla on myös muita ominaisuuksia. Ne parantavat massan muokkautuvuutta, notkeutta ja koossapysyvyyttä. Huokostuksessa ongelmana saattaa olla huokosten jakautuminen betoniin. Tätä voidaan tutkia pinta- ja ohuthiekokeilla mikroskooppisesti tai tuoreelle betonille tehtävällä AVA-kokeella. (Suomen Betoniyhdistys 2004, 66.)

2.1.5 Seosaineet

Seosaineita ovat lentotuhka, masuunikuonajauhe ja silika. Niitä käytetään betonissa yleensä sideaineena. Kaikilla seosaineilla on eri ominaisuuksia, mitkä vaikuttavat muun muassa betonin ominaisuuksiin, esimerkiksi lujuuden kehitykseen ja työstettävyyteen.

Lentotuhka

Lentotuhka on kivihiilen polton sivutuote. Sen osuus kivihiilen alkuperäisestä painosta on noin 10-15 %. Lentotuhka syntyy kivihiilen palamistuotteena erottamalla se savukaasuista sähkö- ja letkusuodattimien avulla. Sitä voidaan käyttää maarakentamisessa useissa eri tarkoituksissa sekä betonin tuotannossa muuttamaan betonin ominaisuuksia halutunlaisiksi. Betoninormit määrittää lentotuhkan suurimmat sallitut määrät betonissa (taulukko 1). (Suomen Betoniyhdistys 2004, 59.)

Masuunikuona

Masuunikuona on metalliteollisuuden sivutuote, jota syntyy satoja tuhansia tonneja vuodessa. Betonissa käytettävää masuunikuonajauhetta saadaan raakaudan valmistuksen yhteydessä syntyvästä masuunikuonasta granuloidulla ja jauhamalla se. Granulointi tarkoittaa sulana olevan kuonan jäädyttämistä nopeasti veden avulla, jolloin syntyy lasimaista kuonaa. Masuunikuonan lasimaisuudella on tärkeä osuus sen kemiallisen koostumuksen ja jauhemaisuuden lisäksi reagointikyvyn kannalta. Masuunikuona koostuu pääosin kalsiumin ja magnesiumin silikaateista ja aluminosilikaateista. Sitä käytetään yleensä noin 10-70 % sideainemäärästä. Tämä määrä riippuu erityisesti käytettävästä sementistä ja betonirakenteen rasitusluokasta. Betoninormeista löytyvät määräykset masuunikuonan sallituille enimmäismäärille (taulukko 1). (Finnsementti.)

Silika

Silika tarkoittaa erittäin hienorakeista amorfista piioksidia. Sen raekoko on noin 0,1 µm. Silikaa saadaan erottamalla se piiraudan valmistuksessa syntyvistä savukaasuista. Sen kiintotiheys on 2 300 kg/m³ ja irtotiheys 400-1 000 kg/m³. Silika on pozzolaaninen aine eli se reagoi kalsiumoksidin kanssa sementin hydrataatiossa ja muodostaa kalsiumsilikaattihydraattia, joka on normaalin sementin kaltaista. Silikan avulla betonin lujuutta ja tiiveyttä voidaan parantaa huomattavasti, sillä se lisää betonin hienoainemäärää. Tästä syystä myös betonin kemiallinen kestävyys paranee.

Silikan käyttö betonissa lisää vedentarvetta. Tämän vuoksi silikaa käytettäessä tulisi käyttää betonin vedentarvetta vähentäviä lisäaineita, kuten notkistinta. Betoninormit on määritellyt betonin sisältämän silikan enimmäismäärät (taulukko 1). (Finnsementti.)

2.2 Vihreä betoni

Rudus Oy toi vihreän betonin markkinoille vuoden 2012 alussa. Vihreä betoni tarkoittaa betonia, jonka hiilidioksidipäästöt ovat noin 20–50 %, tai jopa enemmän, normaalia betonia pienemmät. Vihreää betonia voidaan käyttää lähes kaikissa samoissa kohteissa kuin normaalia betonia. Sen yleisimmät käyttökohteet ovat kuitenkin tavanomaiset perustukset ja sisätilojen rakenteet. Vaativissa kohteissa ja voimakkaasti suola-pakkasrasitetuissa kohteissa, esimerkiksi silloissa, vihreää betonia ei voida hyödyntää täysimääräisesti. Rudus Oy:n vihreän betonin mainos on esitetty kuvassa 3. (Vihreä betoni 2011.)

Betonin hiilidioksidipäästöjä voidaan pienentää materiaalivalinnoilla, valmistustekniikalla ja minimoimalla kuljetuskustannuksia. Mahdollisuuksien mukaan tulisi käyttää mahdollisimman pientä lujuusluokkaa, jotta sementin määrä saataisiin minimoitua. Sideaineina tulisi käyttää mahdollisimman paljon seossementtejä tai korvata sementtiä seosaineilla, kuten masuunikuonalla. Myös notkistinta tulisi käyttää sementin korvaajana ja korvata kiviaineita kierrätyskiviaineilla. Lisäksi raaka-aineilla tulisi olla mahdollisimman pienet kuljetusmatkat. Rakennusliike voi vaikuttaa hiilidioksidipäästöjen pienentämiseen käyttämällä pitkää rakennusaikaa, jolloin betonin vihreydestä saadaan eniten hyötyä. Joidenkin vihreiden betonien lujuuden arvosteluikä on 91 vuorokautta, mikä tarkoittaa hitaampaa lujuuden kehitystä kuin normaalilla betonilla. (Vihreä betoni 2011.)



Kuva 3. Rudus Oy:n mainos vihreästä betonista. Lupa kuvan käyttöön saatu.

2.2.1 Sementin vaikutus

Betonin hiilidioksidipäästöihin vaikuttaa eniten, noin 90–95 %, sementtilaatu ja -määrä. Erityisesti puhtaan portlandsementin käyttö kasvattaa betonin hiilidioksidipäästöjä. Sen sijasta tulisi käyttää seossementtejä, kuten plussementtiä, joka sisältää osittain seosaineita. Mitä enemmän seossementti sisältää seosaineita, sitä ympäristöystävällisempää se on. Toisena vaihtoehtona on korvata mahdollisimman iso osa sementistä seosaineilla. Seosaineiden toimivuus perustuu portlandsementin reaktiotuotteisiin, joiden kanssa seosaineet reagoivat, jonka jälkeen nekin alkavat kehittää lujuutta. Tästä johtuu hitaampi lujuudenkehitys seosaineita käyttäessä. Seosaineiden osuus sideaineista voi olla jopa 60–75 %. Myös notkistimen avulla voidaan pienentää käytettävää sementin määrää, mutta vain osaa sementistä, sillä betonin työstettävyyttä edellyttää tiettyä sementtimäärää. (Vihreä betoni 2011.)

Taulukossa 2 on esitetty sallitut sementit ja seosaineet eri rasitusluokissa. Lisäksi taulukossa on esitetty suurimmat sallitut seosaineiden määrät, joita portlandsementtiin (CEM I) on sallittua lisätä eri rasitusluokissa. Laskettaessa sallittua seosaineiden määrää tulee ottaa huomioon seossementtien sisältämät seosainemäärät, ettei sallittu seosaineiden enimmäismäärä ylitä. (Suomen betoniyhdistys 2012, 100–101.)

Taulukko 2-FI Betonin sideaineelle asetettavat vaatimukset

Rasitusluokat																					
	Ei korroosion tai rasituksen vaaraa	Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio				Kloridien aiheuttama korroosio				Kloridit muusta kuin merivedestä				Jäätymis-sulamis-rasitus					Aggressiivinen kemiallinen rasitus		
		X0	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	XS 1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3		
Sallitut sementtityypit	Ei säily- vyyden aiheutta- mia rajoi- tuksia.	Ei säily- vyyden aiheutta- mia rajoi- tuksia.	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	I II/A-S II/B-S II/A-D II/A-V II/B-V	1) 2)		
	Kaikki standardin SFS-EN 197-1 mukaiset sementit ovat sallit- tuja.	Kaikki standardin SFS-EN 197-1 mukaiset sementit ovat sallit- tuja.	II/A-LL II/A-M II/B-M ³⁾ II/A II/B	II/A-LL II/A-M II/B-M ³⁾ II/A II/B	II/A-LL II/A-M II/B-M ³⁾ II/A II/B	II/A-LL II/A-M II/B-M ³⁾ II/A II/B	II/A-LL II/A-M II/B-M ³⁾ II/A II/B	II/A-LL II/A-M II/B-M ³⁾ II/A II/B	II/A-LL II/A-M II/B-M ³⁾ II/A II/B	II/A-LL II/A-M II/B-M ³⁾ II/A II/B	II/A-LL II/A-M II/B-M ³⁾ II/A II/B	II/A-LL II/A-M II/B-M ³⁾ II/A II/B	II/A-LL II/A-M II/B-M ³⁾ II/A II/B	II/A-LL II/A-M II/B-M ³⁾ II/A II/B	II/A-LL II/A-M II/B-M ³⁾ II/A II/B	II/A-LL II/A-M II/B-M ³⁾ II/A II/B	II/A-LL II/A-M II/B-M ³⁾ II/A II/B	1)			
	Seosainekertoimet:	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00		
	Siilika w/c ≤ 0,45 w/c > 0,45 Lentotuhka ⁴⁾ Masuunkuona	1,00 1,00 1,00 1,00	1,00 1,00 0,40 0,80	1,00 1,00 0,40 0,80	1,00 1,00 0,40 0,80	1,00 1,00 0,40 0,80	1,00 1,00 0,40 1,00	1,00 1,00 0,40 1,00	1,00 1,00 0,40 1,00	1,00 1,00 0,40 1,00	1,00 1,00 0,40 1,00	1,00 1,00 0,40 1,00	1,00 1,00 0,40 1,00	1,00 1,00 0,40 1,00	1,00 1,00 0,40 1,00	1,00 1,00 0,40 1,00	1,00 1,00 0,40 1,00	1,00 1,00 0,40 1,00	1,00 1,00 0,40 1,00		
Esimerkkejä sallituista seosaineiden enimmäislisäyksistä %-osuuksina sementin CEM I painosta ⁵⁾																					
Seosaine:	X0	XC 1	XC 2	XC 3	XC 4	XS 1	XS 2	XS 3	XD 1	XD 2	XD 3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3			
Siilika	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	2)	2)			
Lentotuhka	100	100	45	45	30	45	30	30	45	30	30	45	30	45	30	45	2)	2)			
Masuunkuona	1900	1900	375	375	375	375	375	375	375	375	375	375	100	375	100	375	2)	2)			

1) Sulfaattipitoisessa ympäristössä käytetään SFS-EN 197-1 mukaisen luokan SR3 mukaista sulfaattinkestävää sideainetta.

2) Suunnittelija valitsee käytettävän sideaineen valitsevan kemiallisen rasituksen mukaan.

3) Kalkkiviivaan osuus enintään 15 %

4) Lentotuhkan aktivisuuskertoimen arvona pidetään 0,20 rasioluokissa XC2, XC3, XC4, XF2, XF4, XS-, XD- ja XA-luokissa siltä osin, kun tuuhan ja sementin paino-
osuus suhte alittaa arvon 0,33. Muutoin aktivisuuskertoimen arvona pidetään näissä luokissa 0.

5) Kaikki sallittujen sementtien ja seosaineiden yhdistelmät ovat sallittuja, kunhan seoksen koostumus täyttää sallittujen sementtien koostumukselle standardissa SFS-EN 197-1 asetetut vaatimukset.

Taulukko 2. Eri rasitusluokissa sallitut sementit ja seosaineiden enimmäislisäykset. Taulukko Suomen betoniyhdistys 2012, betonin sideaineelle asetettavat vaatimukset. Lupa taulukon käyttöön saatu.

2.2.2 Kiviaineiden vaikutus

Kiviaineiden valmistuksen hiilidioksidipäästöt eivät ole kovin suuret, mutta hyvää kiviainesta ei enää välttämättä löydy läheltä, sillä se on uusiutumaton luonnonvara. Kiviaineksen loppuminen ei tule olemaan kuitenkaan ongelma Suomessa, vaan kuljetusmatkojen pidentyminen. Kiviainesten avulla betonin hiilidioksidipäästöjä voidaan vähentää entisestään hyödyntämällä myllyjen ja autojen pesussa käytettyjä tai murskebetonista saatuja kiviä. Näin voimme säästää luonnonvaroja sekä uusiokäyttää betonia. (Vihreä betoni 2011.)

2.2.3 Kuljetukset

Kuljetus on oleellinen osa betonin ekologisuutta. Aluksi materiaalit kuljetetaan betonitehtaalte eri puolelta Suomea, osa jopa pidemmän matkan päästä. Erityisesti sementin, seosaineiden ja lisäaineiden kuljetuksen aiheuttamat kustannukset voivat olla iso osa kokonaiskustannuksista. Betoni kuljetetaan valmistuksen jälkeen asiakkaalle ja koko maan kattava betonitehdasverkosto pitää huolen siitä, etteivät kuljetusmatkat ole liian pitkiä. (Vihreä betoni 2011.)

2.2.4 Valmistustekniikka

Myös itse betonitehtaan energiankulutus voidaan laskea betonin hiilidioksidipäästöihin. Merkittävimpiä tekijöitä ovat tehtaan energian käyttö, lämmityksen tarve, kiviaineen valmistukseen käytettävä turbo, veden lämmitys ja myllyn tarvitsema teho. Uudessa ja remontoitussa tehtaassa rakenteet ovat tiiviitä, laitteet tehokkaita ja betonin lämpötila helposti säädettävissä, joiden avulla voidaan päästä huomattavasti pienempiin päästöarvoihin esimerkiksi lämmitykseen kuuluvilla kustannuksilla. Tämän vuoksi betoniasemia tulisi päivittää riittävän usein siten, että ne täyttävät uudet määräykset. Valmistustekniikan osalta ei ole merkittävää eroa, valmistetaanko normaalia vai vihreää betonia, sillä niiden valmistus tapahtuu samalla laitteistolla. (Vihreä betoni 2011.)

2.2.5 Vihreiden betonien ominaisuudet

Vihreillä betoneilla on tutkittu olevan erilaisia ominaisuuksia, osa hyviä ja osa huonoja. Näitä ominaisuuksia voidaan verrata myös normaaliin betoniin. On arveltu, että vihreän betonin siirrettävyys ja pumpattavuus sekä hierrettävyys ovat parempia normaaliin betoniin verrattuna suuren hienoainesmäärän vuoksi. Työstettävyysaika on pitkä ja rakenteen hydrataatiolämpö matala. Lisäksi käytettäessä runsaasti masuunikuonaa, betonin kemiallinen kestävyys paranee ja kloriditunkeuma hidastuu. Lentotuhkalla ei ole tätä ominaisuutta. Erityisesti vaativimmassa rasitusluokassa XA3 masuunikuonaa käytetään 70 % sideainemäärästä, jos ei käytetä sulfaatinkestävää SR-sementtiä. Vihreät betonit voivat olla edullisempia kuin normaalit betonit, sillä seosaineiden määrä on suuri ja seosaineet ovat halvempia kuin sementti. Lisäksi se on ympäristöystävällisempää kuin normaali betoni. (Vihreä betoni 2011.)

Vihreiden betonien heikkoja ominaisuuksia voivat olla erityisesti matalissa lujuusluokissa pienellä sideainemäärällä heikko pumpattavuus ja hierrettävyys. Lisäksi vihreiden betonien sitoutuminen on hidasta, jolloin myös hiertoaika pidentyy. Niillä on hitaampi lujuudenkehitys kuin normaaleilla betoneilla, erityisesti kylmissä olosuhteissa, jolloin tulisi käyttää lämmitystä valun aikana ja muoteissa. Lentotuhkaa käytettäessä pintoihin saattaa muodostua tummia läiskiä ja värijuovia. Jälkihoito- ja muotipurkuaika voivat pidentyä käytettäessä vihreää betonia. (Vihreä betoni 2011.)

Lopulliset vihreän betonin ominaisuudet määräytyvät kohdekohtaisesti tehtävässä vihreän betonin suunnittelussa, jossa kartoitetaan betonille halutut ominaisuudet. Ne riippuvat rakenteesta, käytettävistä sideainemääristä ja seosaineista. Erityisesti ulkoilman lämpötila vaikuttaa ominaisuuksiin huomattavasti, jonka vuoksi kylmällä säällä tulee varautua hyviin lämmityksiin ja käyttää tarvittaessa kuumabetonia. (Vihreä betoni 2011.)

3 BETONILATTIOIDEN LAATUTEKIJÄT

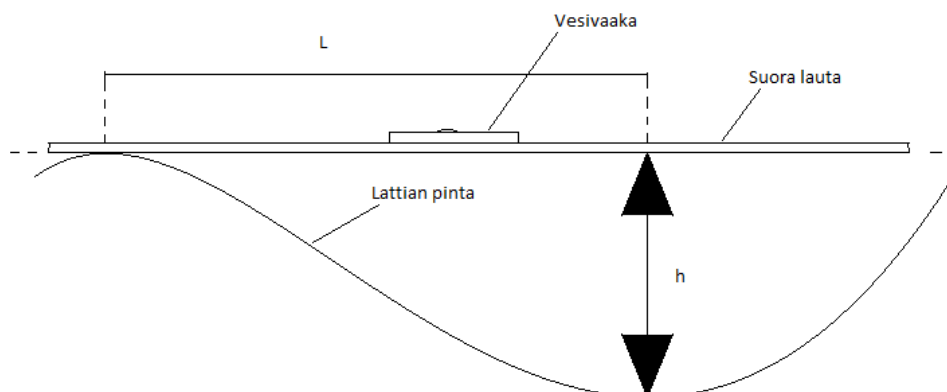
3.1 Tasaisuus

Tasaisuus on yksi tärkeimmistä betonilattioiden laatutekijöistä. Sen arvosteluperusteita ovat hammastus, aaltoilu ja kaltevuusvirheet. Näitä perusteita verrataan vaakasuoraan lattiatasoon tai kaltevissa lattioissa nimelliskaltevuuteen. Tasaisuuden poikkeamat on esitetty millimetrin tarkkuudella hammastuksen ja vaakasuorasta ja nimelliskaltevuudesta riippuvista poikkeamista. Tasaisuuden määrittämisessä käytetään apuna linjalautaa ja hyvää vesivaakaa, jotta saadaan mahdollisimman paikkaansapitävät mittaustulokset. Tasaisuuden poikkeamia seurataan koko työn ajan ja vastaanottomittaus tehdään työn luovutus hetkellä. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 4.)

Tasaisuudella on neljä eri laatuluokkaa. Ne ovat vaativimmasta alkaen A_0 , A, B ja C. Jokaiselle luokalle on määriteltä sallitut mittapoikkeaman arvot, jotka on esitetty taulukossa 3. Kuvassa 4 on esitetty tasaisuuspoikkeama vaakasuoralla lattialla, mutta kuvaa voidaan käyttää myös soveltaen kaltevalle lattialle. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 4.)

Taulukko 3. Tasaisuuden suurimmat sallitut mittapoikkeamat

Tasaisuuspoikkeama	Mittausluokka L (mm)	Suurin sallittu poikkeama (mm)			
		A_0	A	B	C
Hammastus		0	0	1	1
Poikkeama vaaka- suorasta tai nimellis- kaltevuudesta	enintään 200	1	2	3	4
	enintään 700	2	4	6	8
	enintään 2000	4	7	10	14
	enintään 7000	7	10	14	20
	yli 7000	10	14	20	28



Kuva 4. Tasaisuuspoikkeama vaakasuoralla lattialla, jossa L on mittauspituus ja h on tasaisuuspoikkeama mittauspituudella. Kuvaa voidaan käyttää soveltaen myös kaltevalle lattialle.

3.2 Kulutuskestävyys

Kulutuskestävyydellä tarkoitetaan betonilattian kestävyttä mekaanisen rasituksen aiheuttamaa kulumista vastaan. Mekaanista rasitusta voivat aiheuttaa esimerkiksi pyöräkuormat.

Kulutuskestävyyden mittauksessa kulumisella tarkoitetaan kulutuskestävyyden mittaustaitteen teräspyörien aiheuttamaa kulumista käsittelemättömällä ja puhtaalla betonipinnalla (Suomen Betoniyhdistys 2004, 408). Betonilattioiden kulutuskestävyydellä on neljä luokkaa, jotka esitetään numeroin vaativimmasta alkaen 1, 2, 3 ja 4. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 6.)

Kulutuskestävyysluokat voidaan yleensä jaotella siten, että hyvällä ammattitaidolla tehdyt lujuusluokan K-30 betonilattiat kuuluvat luokkaan 4. Luokkaan 3 kuuluvat lujuusluokan K-30 imubetonilattia lämpömassalla, notkistettu lujuudeltaan K-40 betoni ja jäykkä K-40 betonimassa. Luokkaan 2 kuuluvat 30 mm lujuudelta K-50 kovabetonilattia ja notkistettu K-30 betoni, johon on laitettu sirotepinta. Luokkaan 1 kuuluu erikoisbetonista tehty 10–20 mm kerros, jossa on käytetty runkoaineena kvartsia, metallia, piikarbidia tai elektrokorundia ja jonka alusbetonin loppulujuus on vähintään K-40 lujuusluokan mukainen. Tähän luokkaan voidaan luokitella myös lujuudeltaan K-40 betoni, jossa sirotepinta on tehty hyvällä siroteilla ja siroteita on käytetty runsaasti. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 114–115.)

Kulutuskestävyyden mittaus voidaan tehdä kolmen kuukauden kuluttua lattian valusta ja se tehdään ainakin kaikissa 1- ja 2-luokan betonilattioissa. Lisäksi se voidaan tehdä myös muissa luokissa, jos siihen on erityistä syytä. Kulutuskestävyyden mittauksia tehdään yksi jokaista alkavaa 5 000 m² kohti. 1- ja 2-luokan betonilattiat voidaan sopia mitattavaksi vetokokeella kulutuskestävyyden mittauksen sijaan. Taulukossa 4 on esitetty kulutuskestävyyden vaatimukset kussakin laatuluokassa. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 7.)

Taulukko 4. Kulutuskestävyyden vaatimukset eri laatuluokissa

Suurin sallittu kuluminen (mm)	Luokka			
	1	2	3	4
2000 kierroksella	1	3	6	-
800 kierroksella	-	-	-	8

3.3 Muut laatutekijät

Tasaisuuden ja kulutuskestävyyden lisäksi betonin laatuun vaikuttavat myös monet muut tekijät. Näistä tekijöistä merkittävimpiä ovat lujuus, pintabetonin tartunta, paksuuspoikkeamat ja raudoituksen sijainnin vaihtelut.

3.3.1 Lujuus

Betonilattioiden muihin laatutekijöihin kuuluu muun muassa betonin lujuus, joka merkitään luokitusjärjestelmään betonin lujuusluokkaa vastaavina numeroarvoina. Niitä ovat 60, 50, 40 ja 30,

joista 60 on vaativin. Luokitusjärjestelmän numeroarvot vastaavat betonin lujuusluokan K-arvoja ja ne on esitetty taulukossa 5. Betonirakenteen lujuus määritetään normi- tai rakennekokeilla, joiden määräykset esitetään Rakentamismääräyskokoelman osassa B4 Betonirakenteet luvussa 6. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 8.)

Taulukko 5. Betonin lujuusvaatimukset

	Luokka			
	60	50	40	30
Betonin lujuusluokka	K60	K50	K40	K30

3.3.2 Paksuuspoikkeamat

Betonilattian paksuuspoikkeamat tarkoittavat laatan paksuuden poikkeamaa nimellispaksuuteen verrattuna. Lattian paksuutta seurataan työnaikaisilla mittauksilla, joko suorilla paksuusmittauksilla tai massamenekillä. Se voidaan mitata myös poraamalla lattiaan pieniä reikiä tai mittaamalla lattiasta poratuista koekappaleista paksuus. Mikäli yksi mittaus ylittää sallitun paksuuden, koe uusitaan neljä kertaa. Tulosten keskiarvo saa olla korkeintaan 80 % aiemman pisteen sallitusta poikkeamasta. Yleisesti mittausten keskiarvon on oltava nimellispaksuuden suuruinen. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 9–10.)

3.3.3 Raudoituksen sijainnin vaihtelut

Betonilattioissa raudoituksen sijainnin vaihtelulla tarkoitetaan raudoituksen sijainnin vaihtelua korkeussuunnassa laatan keskipisteestä kuvattuna. Jos raudoituksen tulisi olla keskellä laattaa, sen sijainnin vaihtelu saisi olla 15 mm keskipisteen alapuolella ja 20 mm keskipisteen yläpuolella. Raudoituksen sijaintia voidaan mitata tuoreen betonimassan läpi valun aikana tai valmiista ja kovettuneesta lattiasta poratuista lieriöistä. Mittauksessa voidaan käyttää myös sähkömagneettista pintakerrosmittaria, jolloin lukema on suuripiirteinen. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 11.)

3.3.4 Lattiaan kiinnitetyn pintabetonin tartunta

Tartunta tarkoittaa betonilaatan pintabetonin ja alusbetonin välisen sauman kohtisuoraa vetolujuutta. Tartunnan voi todistaa koputuskokeella, jolloin lattian tulee olla kokonaan kiinni alustassaan. Toinen keino on porata betonilattiasta halkaisijaltaan 75 mm suuruisia lieriöitä, joista määritetään tartuntalujuus. Seuraavassa taulukossa on esitetty betonilattian tartuntalujuusvaatimukset 30 vuorokauden kypsyysikässä. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 8–9.)

Taulukko 6. Tartuntalujuusvaatimukset, kun kypsyysikä on 30 vuorokautta.

	Luokka			
	60	50	40	30
Tartuntalujuustulosten keskiarvo vähintään (MN/m ²)	0,8	0,8	0,8	-0,6
	Lisäksi kiinni koputuskokeessa			

3.4 Luokittelemattomat laatutekijät

Betonilattioilla on myös luokittelemattomia laatutekijöitä, joita joudutaan joissain tapauksissa määrittämään halutun lopputuloksen saamiseksi. Niitä ovat betonilattian kuivuminen, kemiallinen kestävyys, säänkestävyys, vesitiiviys, karheus, sähkönjohtavuus sekä ulkonäkö (Suomen Betoniyhdistys 2002, 12–13).

3.4.1 Betonilattian kuivuminen

Betonilattian kuivumisella on tärkeä osa lattioiden pinnoittamisessa ja päällystämisessä. Betonilattian suhteellisen kosteuden tulee olla tarpeeksi alhainen, että päällystäminen onnistuu eikä betonilattian pintaan, päällysteen alle, synny kosteutta. Betonilattian kuivumiseen vaikuttavat erityisesti valettava lattian alusta, betonointimenetelmät, betonimassa, jälkihoitotapa, huonetilan lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä betonilattian kastuminen. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 12.)

Betonilattian kuivumista voidaan mitata suhteellisen kosteuden avulla. Kosteusmittauksia tehdään, kun halutaan seurata rakenteen rakennusaikaista kuivumista, halutaan selvittää kosteusvaurioiden syitä ja laajuutta tai määritetään kastuneen rakenteen kuivaustarvetta. Niitä tehdään myös, kun selvitetään tarkasti, milloin betonia voidaan päällystää, onko päällystäminen onnistunut tai kun selvitetään, onko päällysteen alla kriittinen kosteuspitoisuus. Mittausten avulla voidaan selvittää myös mahdollista kutistumista, päällysteen kuntoa tai rakenteen kosteusjakamaa esimerkiksi korjaussuunnittelun lähtökohdiksi. (RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus 2010.)

3.4.2 Kemiallinen kestävyys

Betonilattialta vaaditaan kemiallista kestävyyttä, mikäli kohteessa esimerkiksi käytetään betonille vaarallisia aineita. Betonipintaa voidaan suojata kyseessä olevilta aineilta monin eri keinoin. Yleensä helpoin keino on lattian päällystäminen tai pinnoittaminen lakoilla tai maaleilla. Vaarallisten aineiden vaikutusta betonipinnalle voidaan pienentää esimerkiksi tekemällä lattiasta mahdollisimman tiivis lujuusluokkaa nostamalla ja hyvällä jälkihoidolla. Joissain tapauksissa pinta joudutaan hiomaan, jos pinnassa on halkeamia, ja sulkea halkeamat imeyttämällä ne sopivalla aineella. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 12.)

3.4.3 Säänkestävyys

Eryteisesti ulkona oleville, sateelle alttiille tai muuten kylmissä ja kosteissa tiloissa oleville betonilattioille tulee asettaa säänkestävyyden vaatimus, joka tarkoittaa pakkasrasituksen vaatimusta. Tällöin tulee valita säänkestävä betonilaatu, jota on huokoistettu enemmän kuin muita normaaleja lattiabetoneja. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 12.)

3.4.4 Vesitiiviys

Betonilattialta voidaan vaatia erityistä tiiviyyttä esimerkiksi syöpymisvaaran vuoksi tai vettäpitävissä rakenteissa, kuten uima-altaissa. Sen tutkimisesta sovitaan aina erikseen. Vesitiiveyden testauksessa käytetään standardin SFS-EN 12390-8 ohjeita. Vesitiiveyttä tutkitaan ennakkokokein siten, että kaksi lujuusluokaltaan heikointa vesitiiviiksi tarkoitettua betonilaatua testataan. Betoni on vesitiivis, kun koe suoritetaan standardin SFS-EN 12390-8 ohjeiden mukaan ja paineellisen veden tunkeumasyyvyys on korkeintaan 100 mm. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 12; Suomen Betoniyhdistys 2012, 143.)

3.4.5 Pinnan karheus

Betonilattioita voidaan arvostella myös karkeuden perusteella. Halutessa karheutta voidaan lisätä esimerkiksi käyttämällä erilaisia hiertotapoja, pinnan profilointia tai koholle jäävää runkoainesta. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 13.)

3.4.6 Sähkönjohtavuus

Betonilattioilta vaaditaan sähkönjohtavuutta, jos tilassa käsitellään räjähdysvaarallisia aineita tai herkkiä elektronisia komponentteja, tai esimerkiksi lääkintätiloissa. Sähkönjohtavuus saadaan aikaan käyttämällä lattiapinnassa sähköä johtavaa täyteainetta tai pinnoittamalla lattia sähköä johtavalla pinnoitesysteemillä. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 13.)

3.4.7 Betonilaatan ulkonäkö

Betonilaatan ulkonäkövaatimukset määritellään jo suunnitteluvaiheessa. Vaatimuksia voivat olla värin tasaisuus, hierto- ja hiontajäljen tasaisuus, pintahalkeamat, maalaus- ja lakkausjälki. Betonipinnan ulkonäköön vaikuttavat erityisesti massan koostumus, muotti, valutekniikka, tärytystekniikka, jälkihoito ja pinnan kuivuminen. Ulkonäkövaatimusten toteutumisesta voidaan tehdä kirjallinen dokumentti tai vertailu aiemmin tehtyyn lattiaan tai koelaattaan. Lisäksi rakennuttaja voi tehdä harkinnanvaraisia pistokokeita ulkonäkövaatimusten varmistamiseksi. (Suomen Betoniyhdistys 2002, 13; Suomen Betoniyhdistys 2007, 22 ja 96.)

4 TYÖSSÄ KÄYTETYT TUTKIMUSMENETELMÄT

4.1 Toteutus

Opinnäytetyössä tarkoituksena oli tutkia vihreitä lattiabetoneita erilaisten kokeiden avulla.

Tutkimusten kohteeksi pyrittiin ottamaan betonilattioiden valamiseen ja käyttöön liittyviä tärkeitä ominaisuuksia. Kokeita varten valettiin sekä koelaattoja että -kappaleita. Ennen kuin vihreää lattiabetonia pystyttiin tutkimaan, tehtiin suhteitukset eri masuunikuonan määriille. Suhteitus tehtiin C25/30 lujuudella, 16 mm maksimi raekoolla ja S2 notkeusluokalla. Rasitusluokaksi määrättiin XC1:n.

Tutkimuksia varten tehtiin neljä erilaista suhteitusta, joiden masuunikuonamäärät olivat 60, 65, 70 ja 75 % kokonaissideainemäärästä. Jokaisesta suhteituksesta valettiin koekappaleita puristuslujuuden määrittämistä sekä vesitiiviyyden tutkimista varten. Lisäksi jokaisesta suhteituksesta tehtiin kaksi koelaattaa; toinen kulutuskestävyyden mittausta varten ja toinen betonilaatan kuivumisen seurantaan varten. Kuvassa 5 on valettuja koelaattoja pinnan hierron jälkeen.

Viidestä suhteituksesta yksi oli normaalista lattiabetonista, joka toimi vertailubetonina. Siitä tehtiin samanlaiset koekappaleet ja -laatat, kuin vihreän betonin suhteutuksista, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia. Tarkoituksena oli vertailla, miten vihreiden lattiabetonien koetulokset eroavat toisistaan ja miten ne eroavat vertailubetonin tuloksista.



Kuva 5. Valettuja betonilaattoja. Kuva Noora Tuomainen

4.2 Tuoreen betonin testaus ja työstettävyys

Tuoretta betonia testattiin heti kun massa oli sekoitettu ja koelaattojen ja –kappaleiden valu aloitettiin. Tuoreen betonimassan testaamisen avulla saadaan selville, ovatko sen ominaisuudet toivottuja.

Aluksi arvioitiin tuoretta betonia silmämääräisesti, jonka jälkeen betonimassojen lämpötilat mitattiin. Lämpötilan tulisi olla noin $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, jotta sitoutuminen tapahtuu normaalisti. Jos lämpötila on $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ matalampi, sitoutumisaika kaksinkertaistuu. Lisäksi tuoreen betonimassan työstettävyttä arvioidaan massan notkeudella, joka voidaan testata painuma- tai leviämäkokeella tuoreesta betonimassasta (Suomen betoniyhdistys 2004, 69). Työstettävyden mittaamiseen käytettiin painumakoetta, joka on määritelty standardissa SFS-EN 12350-2.

Betonin painuman mittauksessa tarvitaan jokin tasainen alusta, kuten vaneri, sekä painumakartio, joka laitetaan alustan päälle kapeampi puoli ylös päin. Betonimassaa lapioitiin kartion sisään kolmessa kerroksessa ja jokaisen kerroksen välissä massaa tiivistettiin painemasauvalla 25 kertaa. Kun kaikki kerrokset oli tiivistetty ja kartio oli täynnä, kartion pää tasoitettiin ja kartio nostettiin tasaisesti ylös. Samaan aikaan kun kartio nostettiin, betonimassa painui hieman. Painuma kartion yläpäästä betonimassan yläpäähän mitattiin ja tulokseksi saatiin painuma ja notkeusluokka. Kuvassa 6 näkyy painuman mittaus.



Kuva 6. Betonimassan painuman testaus painumakartion avulla. Kuva Noora Tuomainen

Betonin työstettävyden kannalta vesi-sementtisuhteen tulee olla suurempi kuin 0,4. Betoneissa, joissa käytetään runsaasti masuunikuonaa, veden tarve on pienempi. Vihreän betonin työstettävyys

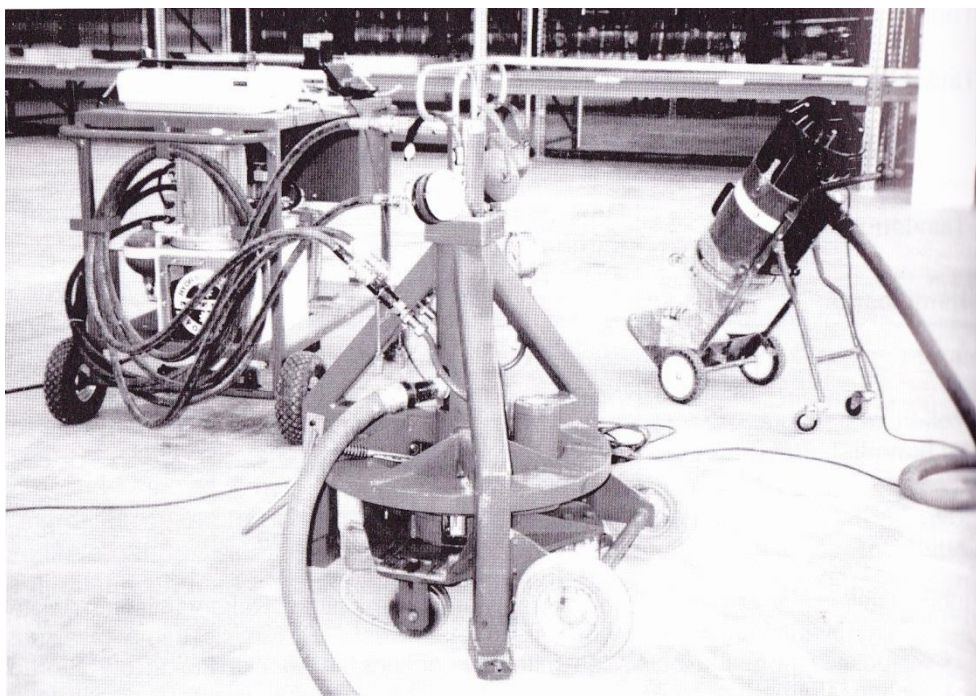
paranee masuunikuonan lasimaisuuden vuoksi, jonka ansiosta tuoreesta betonimassasta tulee liukkaampaa. Sementillä ei ole lasimaista koostumusta.

4.3 Kulutuskestävyyden mittaus

Kulutuskestävyyden mittausta varten tehtiin koelaattoja, joiden sivujen pituudet olivat 1 000 mm ja paksuudet 150 mm. Lattoja varten tehtiin muotteja vanerista ja sahatavarasta ja muotteihin laitettiin kaksi rauditusverkkoa muottia kohden, jotta laatta kestäisi siirtoa ja kuljetusta paremmin. Rauditusverkot asetettiin 50 mm välein muotteihin. Tämän jälkeen laatat valettiin suhteituksen materiaaolimäärien mukaan. Massan tiivistys tehtiin tärysauvalla yleisten ohjeiden mukaisesti ja jälkihoidossa apuvälineenä käytettiin muovia. Kulutuskokeet tilattiin VTT Expert Services Oy:ltä ja ne suoritettiin Espoon Otaniemessä. Kulutuskestävyyden koe voitiin suorittaa kolmen kuukauden päästä laattojen valuajankohdasta.

4.3.1 Kulutuskestävyyden mittausmenetelmä

Kulutuskestävyyden mittaus tehdään laitteella, jossa on kolme teräspyörää. Pyörät kiertävät halkaisijaltaan 500 mm ympyrää, pyörien keskeltä mitattuna. Teräspyörien halkaisija on 110 mm ja leveys 50 mm ja ne ovat ympyrän kehästä 5° ulospäin. Jokainen pyörä kuormittaa laattaa 3 kN:n voimalla. Yhden pyörän perässä on suukappale, joka imee kokeen aikana irronneet ainekset. Mittaus kestää 2 000 kierrosta tai luokan 4 betonilattioissa 800 kierrosta. Mittaukset keskeytetään mikäli sallitut arvot ylittyvät. Kuluminen mitataan ja mittaustulos ilmoitetaan 0,1 mm tarkkuudella. Kuvassa 7 on kulutuskestävyyden mittauslaite. (Anttilainen 2002.)



Kuva 7. Betonilattioiden kulutuskestävyyden mittauslaite. Kuva Suomen Betoniyhdistys 2004. Lupa kuvan käyttöön saatu.

4.4 Puristuslujuuden mittaus

Puristuslujuus on yksi betonin tärkeimmistä ominaisuuksista. Se on noin kymmenkertainen vetolujuuteen verrattuna. Puristuslujuus on helppo testata ja monet muut betonin ominaisuudet ovat verrannollisia siihen, esimerkiksi vetolujuus, taivutusvetolujuus ja kimmokerroin. (Suomen Betoniyhdistys 2004, 79.)

Puristuslujuuden määrittystä varten tehtiin jokaisesta vihreän betonin suhteutuksesta neljä koekappaletta ja normaalista lattiabetonista kolme koekappaletta. Koekappaleet olivat halkaisijaltaan 150 mm ja pituudeltaan 300 mm lieriöitä. Jokaiselle vihreän betonin suhteitukselle mitattiin puristuslujuus 3, 7, 28 ja 91 vuorokauden ikäisinä ja vertailubetonille 3, 7 ja 28 vuorokauden ikäisinä.

Koekappaleet valmisteltiin puristusta varten hiomalla päät ja tasaamalla ne rikkiseosmenetelmällä. Rikkiseosmenetelmästä on kerrottu lisää edempänä. Rikkiseoksen laittamisen jälkeen koekappaleen päiden annettiin jäähtyä vähintään puoli tuntia, jonka jälkeen koekappaleiden puristus pystyttiin suorittamaan. Kuvassa 8 on puristuslujuuden testauslaite.



Kuva 8. Puristuslujuuden mittauslaite. Koekappale paikoillan puristuslujuuden määrittystä varten. Kuva Noora Tuomainen

4.4.1 Rikkiseosmenetelmä

Rikkiseosmenetelmä on yksi koekappaleen pinnoitusvaihtoehtoista. Muita pinnoitusvaihtoehtoja ovat pinnoitus kalsium-aluminaattisementtiä käyttäen ja hiekkalaatikkomenetelmä.

Rikkiseosmenetelmässä ennen pinnoitusta tulee varmistaa, että pinnoitettava pinta on kuiva ja puhdas, eikä siinä saa olla irtainesta hionnan jäljiltä. (SFS-EN 12390-3 2009.)

Rikkiseos kuumennetaan padassa jatkuvasti sekoittaen lämpötilaan, jossa seoksen notkeus on riittävä. Seoksen tulee olla tasalaatuista eikä se saa kerrostua sulatuspadan pohjaan. Kun rikkiseos on sulanut, sitä kaadetaan vaakasuorassa olevalle levyllä, joka on öljytty mineraalipohjaisella öljyllä seoksen irrotuksen varmistamiseksi. Koekappale nostetaan levyn päälle pystysuorassa, jonka takaa levyissä yleensä oleva pinnoituskehikko. Seoksen annetaan kovettua koekappaleen alapintaan ja ylimääräinen rikkiseos poistetaan koekappaleen reunoista. Tämän jälkeen sama toistetaan koekappaleen toiselle puolelle. Koekappaleen pinnoitus tarkistetaan, jotta voidaan varmistua seoksen tarttumisen koekappaleen pintaan. Koekappale on valmis puristuskokeeseen puolen tunnin kuluttua rikkiseoksen laitosta, kun seos on jäähtynyt. (SFS-EN 12390-3 2009.)

4.5 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus

Kuivumisen seurantaan varten tehtiin koelaattoja sekä vihreistä lattiabetoneista että normaalista lattiabetonista. Laattojen sivujen mitat olivat 1000 mm ja paksuus 100 mm. Muotit tehtiin samalla tavalla kuin kulutuskestävyyttä varten, vanerista ja sahatavarasta. Keskelle laatkaa laitettiin rauditusverkko, jotta laatat kestäisivät siirtoa ja kuljetusta. Laatat valettiin ja täytettiin yleisten ohjeiden mukaisesti siten, että ne vastaisivat oikeaa valutilannetta. Laatat kuljetettiin Savonia-ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikön laboratorion testaustiloihin, jossa on mahdollista mitata betonin suhteellista kosteutta. Laattojen pintoja ei käsitelty tai hiottu. Mittaukset tehtiin perinteisellä porareikämenetelmällä Savonia-ammattikorkeakoulun Auto Building -kosteudenmittauslaitteistolla. Laitteisto on kuvassa 9. Tuloksia vertailtiin Vaisalan HMI41 -laitteella, jotta saatiin varmuus tulosten oikeellisuudesta. Vaisalan mittauslaite on kuvassa 10. Kosteusmittauksissa käytettävien mittauslaitteiden epätarkkuus/heitto voi olla jopa 2–3 %. Parhaimmissa tapauksissa se heittää vain noin 1 %.



Kuva 9. Kosteudenmittaukset käynnissä Savonia-ammattikorkeakoulun Auto Building -kosteudenmittauslaitteistolla.

Kuva Noora Tuomainen



Kuva 10. Vaisalan kosteudenmittauslaite ja kaksi anturia. Kuva Noora Tuomainen

Betonirakenteiden kuivumista voidaan seurata mittaamalla suhteellista kosteutta betonissa olevien rakennehuokosten ilmatilasta. Suhteellisen kosteuden mittauslaitteet laskevat suhteellisen kosteuden huokosten ilmatilassa olevan vesihöyrymäärän ja lämpötilan perusteella. (RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus 2010.)

Laattojen kuivumisen kannalta tärkeää on rakenneratkaisu. Tässä työssä laatat tehtiin siten, että ne kuivuivat vain yhteen suuntaan, eli ylöspäin. Laattojen sivuille ja pohjaan laitettiin muovin kuivumisen estämiseksi. Tätä yhteen suuntaan kuivuvaa rakennetta voidaan verrata maanvaraiseen laattaan, jossa kuivuminen tapahtuu pääosin yhteen suuntaan.

4.5.1 Porareikämenetelmä

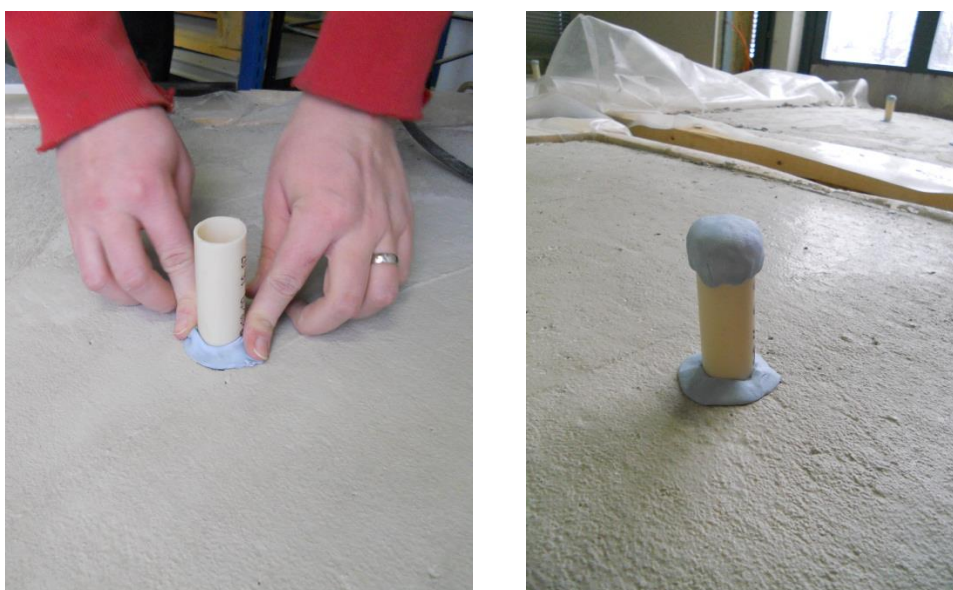
Betonin suhteellisen kosteuden mittausmenetelmät ja ohjeet on esitetty RT-ohjekortissa 14-10984. Käytimme mittauksissa RT-ohjekortissa kuvattua porareikämenetelmää. Porareikämittauksessa on useita eri vaiheita ja se kestää vähintään kolme päivää, jos halutaan vain yksi mittaustulos.

Porareikämittaus aloitetaan poraamalla betonilaattaan sopivan kokoinen reikä. Reiän halkaisija määräytyy käytettävän laitteen anturin koosta ja sitä ympäröivästä putkesta. Se on yleensä 16 mm, mutta aina tulee käyttää ensisijaisesti valmistajan antamia ohjeita ja putkea. Reiän halkaisija tulee kuitenkin olla vähintään 10 mm, vaikka mittapää olisikin pienempi, jotta reikä saadaan putkitettua luotettavasti. Poratun reiän syvyys taas riippuu laatan paksuudesta. Yleensä mittauksen syvyys on 0,4 kertaa laatan paksuus. Opinnäytetyön betonilaattojen kosteudentutkimisessa käytetty syvyys määräytyi 100 mm paksuudesta, täten syvyys oli 40 mm. Kuvassa 11 näkyy porattu reikä. (RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus 2010.)



Kuva 11. Määräsyvyyteen porattu reikä. Kuva Noora Tuomainen.

Kun betonilaattojen reiät on porattu haluttuun syvyyteen, reikä puhdistetaan tarkasti porauksessa syntyneestä betonipölystä. Puhdistukseen käytetään imuria, jonka päähän on laitettu ohut putki, joka mahtuu reikään. Puhdistuksessa tulee olla tarkka, ettei reikään jää pölyä, sillä se voi vaikuttaa mittaustuloksiin. Kun reikä on porattu ja puhdistettu huolellisesti, reikään asetetaan mittausputki, joka ulottuu reiän pohjaan. Putkena voidaan käyttää esimerkiksi muovista sähköputkea, jonka ulkohalkaisija on yhtä suuri kuin reiän halkaisija. Tämän jälkeen putken ja betonipinnan rajakohta tiivistetään vesihöyrytiiviillä kitillä tai esimerkiksi sinitarralla. Sitten putki puhdistetaan imurilla ja laitetaan tiivistys myös putken yläpäähän edellä mainitulla tiivistyskeinolla. Kuvassa 12 on esitetty reiän tiivistys. Tämän jälkeen reiän annetaan tasaantua vähintään kolme vuorokautta, jonka aikana tasapainokosteus reiässä on saavutettu. (RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus 2010.)



Kuva 12. Porareikään asetetun putken tiivistys sinitarralla. Kuva Noora Tuomainen.

Kun kolme vuorokautta reiän teosta on kulunut, voidaan aloittaa mittaukset. Putken päässä oleva tiivistys avataan ja mittapää asetetaan putkeen nopeasti, jonka jälkeen putken ja anturin väli tiivistetään nopeasti ja huolellisesti. Mittapään annetaan tasaantua putkessa mittalaitteen valmistajan ohjeiden mukainen aika. Yleensä tasaantumisaika on noin 0,5–4 tuntia. Kun tasaantumisaika on mennyt, asetetaan näyttölaite anturiin ja otetaan lukemat ylös. Mittauksesta kirjataan aina mittapään numero, mittauspisteen sijainti, mittaussyvyys, huoneilman lämpötila, huoneilman suhteellinen kosteus sekä mittauskohdan suhteellinen kosteus ja lämpötila. Useat kosteudenmittauslaitteet näyttävät myös mittauskohdan vesimäärän grammoina kuutioneliometriä ilmaa kohden. Kuvassa 13 on meneillään olevat mittaukset eri laitteistoilla. (RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus 2010.)



Kuva 13. Vasemmalla Savonia-ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratorion Auto Building –ohjelman anturi asetettuna reikään. Oikealla meneillään oleva mittaus Vaisalan HMI41 –laitteistolla. Kuva Noora Tuomainen.

Mittapään tasaantumisnopeus riippuu sen ja betonin ominaisuuksista ja betonin kosteuspitoisuudesta. Parhaan mittaustarkkuuden saavuttamiseksi tulisi käyttää aina uutta porareikää. Porareikämittauksen muita epätarkkuustekijöitä ovat:

- mittapään tyyppi
- laitteiston kalibrointi
- mittapään käytön määrä
- mittauskohteet
- mittausreiän puhdistus
- putkitus ja tiivistys
- mittapään reiässäoloaika
- odotusaika porauksesta
- oikea mittaussyvyys

- rakenteen epänormaali lämpötila sekä
- rakenteen ja yläpuolisen ilman välinen lämpötilaero.

(RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaus 2010.)

4.6 Betonin vesitiiviiden mittaus

Betonin vesitiiviiden mittaus suoritettiin paineellisen vedentunkeuman kokeella, jota ohjaa standardi SFS-EN 12390-8. Koetta varten tehtiin kaksi koekappaletta vihreän betonin suhteituksista.

Suhteituksissa käytettiin masuunikuonan minimi- ja maksimiarvoja, eli toinen sisälsi 60 % ja toinen 75 % masuunikuonaa kokonaissideainemäärästä. Koekappaleina käytettiin lieriöitä, joiden korkeus oli 300 mm ja halkaisija 150 mm. Koekappaleiden testaus suoritettiin Savonia-ammattikorkeakoulun Tekniikan yksikön laboratorioissa noin 60 päivän ikäisinä siten, että nimellislujuus täyttyi varmasti.

Koekappaleet valmisteltiin koetta varten karhentamalla vedenpaineelle altistettava pinta teräsharjalla noin seitsemän senttimetrin alalta. Sitten koekappale laitettiin vesitiiviiden mittauslaitteistoon ja sen toiseen päähän kohdistettiin 5 barin vesipaine kolmen (3) vuorokauden ajaksi.

4.6.1 Paineellisen vedentunkeuman testaus

Betonin vesiitiivyyttä mitataan paineellisen vedentunkeuman kokeella. Kokeessa käytetään koekappaletta, jonka tulee olla kuutiomainen, lieriömäinen tai prismamainen ja sen vähimmäismitta, joko sivun mitta tai halkaisija, tulee olla 150 mm ja muiden mittojen vähintään 100 mm. Koekappale voidaan testata, kun se on saavuttanut 28 vuorokauden iän. Testaus suoritetaan erillisellä laitteistolla, jossa koekappaleeseen kohdistetaan $5 \pm 0,5$ barin vesipaine 72 ± 2 tunnin ajan. Savonia-ammattikorkeakoulun paineellisen vedentunkeuman laitteisto on kuvassa 14. Kun testaus on suoritettu, koekappale halkaistaan kohtisuoraan sitä pintaa vastaan, joka on ollut vesipaineen alaisena ja annetaan koekappaleen kuivua sen verran, että veden tunkeuman raja on selvästi näkyvissä. Tunkeumasyvyyden raja merkitään ja mitataan millimetrin tarkkuudella, kuinka pitkälle vesi on päässyt tunkeutumaan. (Hakala 2011.)



Kuva 14. Paineellisen vedentunkeuman testauslaitteisto. Kuva Noora Tuomainen

5 TUTKIMUSTEN TULOKSET

Tulosten käsittelyssä on käytetty lyhenteitä käsitellessä eri betonisuhteituksia. Lyhenteet ja niiden selitykset ovat:

- VL-60 Vihreä lattiabetoni, jossa 60 % masuunikuonaa kokonaissideainemäärästä
- VL-65 Vihreä lattiabetoni, jossa 65 % masuunikuonaa kokonaissideainemäärästä
- VL-70 Vihreä lattiabetoni, jossa 70 % masuunikuonaa kokonaissideainemäärästä
- VL-75 Vihreä lattiabetoni, jossa 75 % masuunikuonaa kokonaissideainemäärästä
- LA Normaali lattiabetoni, eli vertailubetoni

5.1 Tuoreen betonin testaus

Tuoreesta betonimassasta mitattiin lämpötila ja painuma. Lämpötilan avulla pystytään arvioimaan sitoutumis- ja hiertoaikaa sekä jälkihoitoaikaa. Painuma kertoo notkeusluokan, joka vaikuttaa massan työstettävyyteen. Taulukossa 7 on määritelty notkeusluokat.

Taulukko 7. Betonin notkeusluokat

Notkeusluokat	
Luokka	Painuma (cm)
S1	1-4
S2	5-9
S3	10-15
S4	16-21
S5	22-

Tulokset olivat melko samanlaiset eri suhteituksilla. Taulukossa 8 on esitetty tulokset tuoreen betonin testauksesta. Lisäksi siihen on kirjattu eri betonien toteutuneet vesisementtisuhteet, jotka on merkitty toteutunut V/S kohtaan. Taulukossa 2 (ks. sivu 15) masuunikuonalle on määritelty sideainekertoimet, joiden avulla vesisideainesuhde saadaan muutettua vesisementtisuhteeksi. Rasitusluokassa XC1 masuunikuonan sideainekerroin on 1 eli vesisideainesuhde on sama kuin vesisementtisuhte.

Taulukko 8. Tuoreen betonin testaustulokset

Tuoreen betonin testaustulokset					
Tunnus	Masuunikuona määrä %	Toteutunut V/S	Lämpötila (°C)	Painuma (cm)	Notkeusluokka
VL-60	60	0,64	19,5	5	S2
VL-65	65	0,63	19	9	S2
VL-70	70	0,63	19	5	S2
VL-75	75	0,63	19	6	S2
LA	0	0,73	16	7	S2

5.2 Kulutuskestävyys

Kulutuskestävyyden kokeet teetettiin VTT Expert Services Oy:llä Espoon Otaniemessä, kun laatat olivat kolmen kuukauden ikäisiä. Taulukossa 4 (ks. sivu 20) on esitetty kulutuskestävyyden vaatimukset eri lattialuokissa. Luokkaan 4 kuuluvat ammattitaidolla tehdyt lujuusluokan K-30, nykyisin C25/30, betonilattiat, jollaisia koelaatoista pyrittiin tekemään. Kuvassa 15 on kulutuskestävyyden mittausrakennelma, jolla laatat testattiin.

Taulukossa 9 on esitetty kulutuskestävyyden tulokset kierrosten (r) mukaan. Tulokset on kirjattu 0,1 mm:n tarkkuudella. Luokassa 4 sallittu kulutuskestävyyden tulos 800 kierroksella on 8 mm, joka toteutui ainoastaan 60 % masuunikuonaa sisältävän vihreän betonin kohdalla. Tuloksista huomaa, että kulutuskestävyyden kohdalla selvästi heikoin tulos oli 75 % masuunikuonaa sisältävällä vihreällä betonilla. Tarkempi tutkimusraportti on esitetty liitteessä 4. Kuvassa 16 näkyy laatta kulutuskestävyyden testauksen jälkeen.

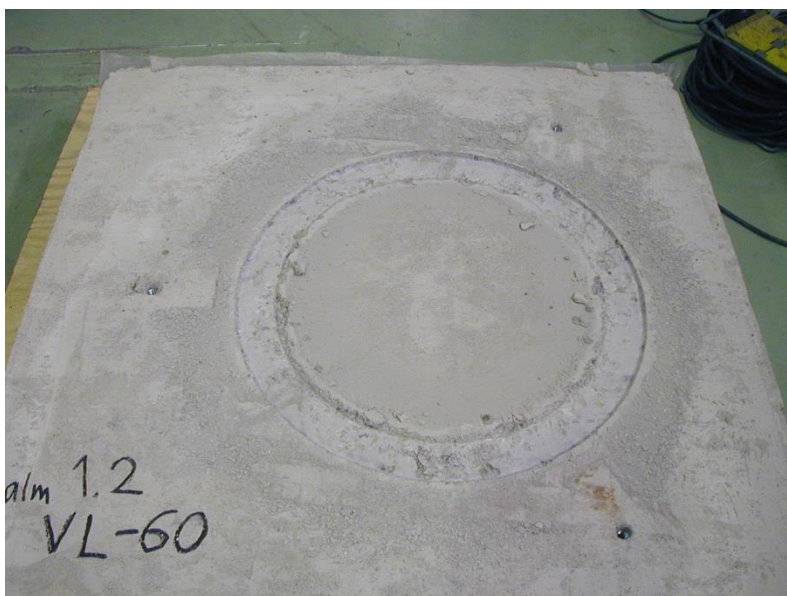
Taulukko 9. Kulutuskestävyyden tulokset kierrosmäärillä r

Koekappale Tunnus	Kokonaiskuluminen (mm)			
	100 r	300 r	500 r	800 r
VL-60	2,4	3,6	5,7	7,7
VL-75	2,2	4,9	7,3	-
LA	2,6	4,7	6,3	-

Tuloksissa on mahdollisia heittoja laattojen teko vaiheessa tehtyjen virheiden vuoksi. Erityisesti normaalin lattiabetonin massantekovaiheessa automatiikan tekemät annosteluvirheet olivat suuria, josta heikompi kulutuskestävyyden tulos voi johtua. Lisäksi koelaattoja tehtiin ensimmäistä kertaa eikä varsinaista ammattitaitoa ollut.



Kuva 15. Kulutuskestävyyden testauslaite.
Kuva kulutuskestävyyden testausseleste.
Lupa kuvan käyttöön saatu.



Kuva 16. Kulutuskestävyyden mittauksen aiheuttama kuluminen
betonilaatassa. Kuvassa masuunikuonaa 60 % sisältävän vihreän
betonin laatta. Kuva kulutuskestävyyden testausseleste. Lupa
kuvan käyttöön saatu.

5.3 Puristuslujuus

Betonin puristuslujuus perustuu kuutiolujuuteen, joka saadaan testattaessa sivumiltataan 150 mm kuutioita (Suomen betoniyhdistys 2004, 79). Jotta puristuslujuuden tulokset olisivat vertailukelpoisia ja määräysten mukaisia, lieriöiden puristuslujuuden arvot muutettiin kuutiolujuuksiksi taulukon 10 mukaan.

Taulukko 10. Lieriölujuuden muuttaminen sivuultaan 150 mm kuution lujutta vastaavaksi. (Suomen betoniyhdistys 2004, 80.)

Lieriölujuus (MPa)	Vastaava kuutiolujuus lujuusalueen alarajalla (MPa)	Alarajan ylittävän lujuuden muunnoskerroin
8-20	10	1,25
20-25	25	1,00
25-28	30	1,67
28-32	35	1,25
32-35	40	1,67
35-50	45	1,00
50-57	60	1,43
57-65	70	1,25
65-	80	1,00

Esimerkiksi lieriön puristuslujuudeksi on mitattu 28 MPa. Kuutiolujuus saadaan täten $30 \text{ MPa} + (28 \text{ MPa} - 25 \text{ MPa}) * 1,67 = 35 \text{ MPa}$

Vihreän betonin koekappaleiden puristuslujuuden testaukset tehtiin 3, 7, 28 ja 91 vuorokauden ikäisinä. Normaalin lattiabetonin testaukset tehtiin 3,7 ja 28 vuorokauden ikäisinä. Taulukossa 11 on esitetty puristuslujuuden mittausten arvot sekä koekappaleiden tiheydet mittauksia suoritettaessa. Tiheydet lasketaan jakamalla koekappaleen painon sen tilavuudella ja se ilmoitetaan $0,01 \text{ kg/dm}^3$ tarkkuudella.

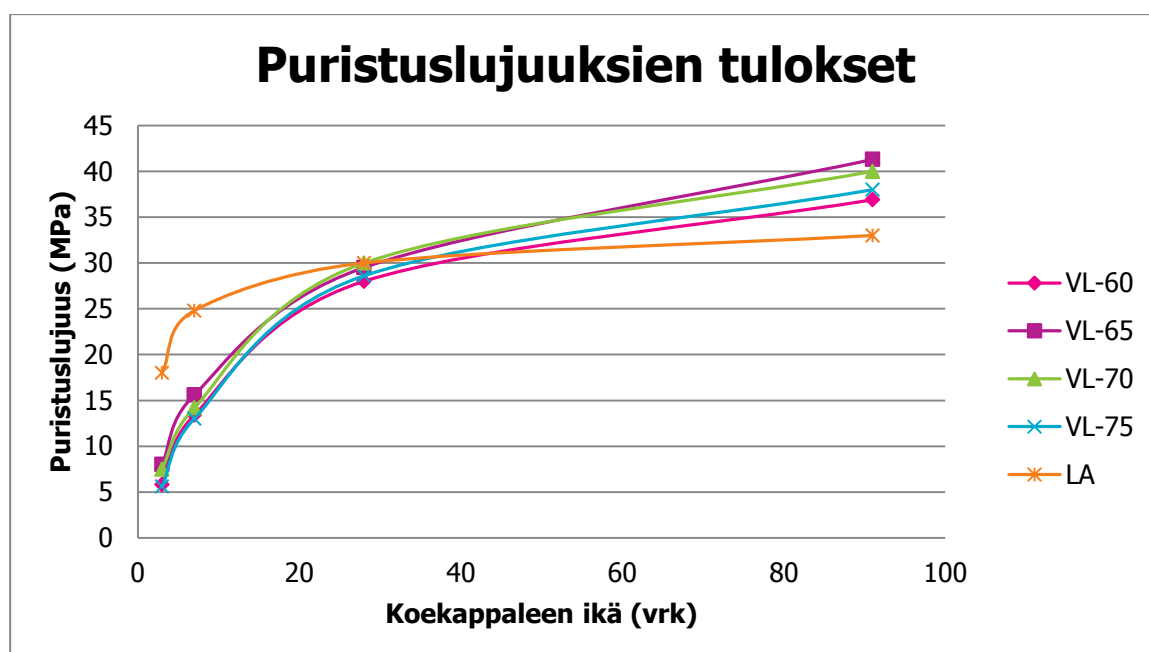
Taulukko 11. Puristuslujuuden tulokset

Puristuslujuuden tulokset									
		3d		7d		28d		91d	
Valupäivä	Tunnus	Tiheys (kg/dm ³)	Lujuus (MPa)	Tiheys (kg/dm ³)	Lujuus (MPa)	Tiheys (kg/dm ³)	Lujuus (MPa)	Tiheys (kg/dm ³)	Lujuus (MPa)
1.2.2013	VL-60	2,34	5,8	2,35	13,4	2,35	28,0	2,36	36,9
2.2.2013	VL-65	2,31	8,3	2,32	15,6	2,35	29,5	2,35	41,3
2.2.2013	VL-70	2,33	7,5	2,34	14,2	2,34	30,0	2,36	40,3
2.2.2013	VL-75	2,34	5,6	2,36	13,0	2,37	28,6	2,37	38,3
5.2.2013	LA	2,38	18,1	2,39	24,8	2,38	30,0		

Tulosten mukaan tutkimukset olivat onnistuneita. Luulimme tulosten laskevan lineaarisesti masuunikuonamäärän noustessa ja niin tuloksissa kävikin lukuunottamatta 60 % masuunikuonamäärällä tehtyä betonia. Tämä voi johtua betonin teko vaiheessa tehdyistä virheistä.

Vihreän betonin massat tehtiin käsimyllyllä ja 60% masuunikuonamäärällä tehty massa oli ensimmäinen joka tehtiin, joten sen teossa ilmeni muutamia ongelmia. Yksi ilmenneistä virheistä oli betonin raaka-aineiden laitto myllyyn väärässä järjestyksessä sekä liian suuren satsi myllyn kokoon nähden, jonka seurauksena massa ei meinannut sekoittua.

Kuviossa 1 on esitetty puristuslujuuden tulokset diagrammimuodossa. Siitä voi nähdä vihreiden lattiabetoneiden ja normaalin lattiabetonin lujuuksien erot. Erityisesti varhaislujuus on vihreillä betoneilla pienempi normaaliin betoniin verrattuna, mutta yllättäen vihreiden betonien lujuudet saavuttavat lähes tavoitelujuuden 28 vuorokauden iässä. 91 vuorokauden iässä vihreät betonit ylittävät tavoitelujuuden selvästi. Kuviossa 1 oleva normaalin lattiabetonin 91 vuorokauden puristuslujuuden tulos on laskettu Rudus Oy:n Betoplus ohjelmalla 3, 7 ja 28 vuorokauden puristuslujuuksien perusteella.



Kuvio 1. Puristuslujuuksien tulokset

5.4 Betonin suhteellinen kosteus

Betonin suhteellista kosteutta tutkittiin Savonia-ammattikorkeakoulun Auto Building -laitteiston avulla. Ensimmäisissä mittauksissa laattojen suhteellinen kosteus näytti nousevan tulosten perusteella. Tämä ei tarkoittanut kosteuden nousemista vaan anturien tasaantumista putken sisällä. Lisäksi mittauksia tehtiin Vaisalan HMI41 -laitteistolla, jolla saatiin sekä vertailuarvoja että mittaustuloksia AutoBuilding-laitteiston ollessa muussa käytössä.

Tutkimukset osoittivat, että vihreä lattiabetoni kuivuu normaalia lattiabetonia nopeammin. Tulokseen vaikuttaa varmasti normaalin lattiabetonin suurempi vesisementtisuhde, joka johtuu betonin valmistuksessa käytetyn automaattisen raaka-aineiden annostelijan virheistä. Tutkimusten mukaan myös vihreiden betonien kuivumisessa oli pientä eroa. Mitä enemmän vihreä betoni sisältää masuunikuonaa, sitä nopeammin se kuivuu. Erot eivät olleet suuria, mutta näiden tulosten

perusteella voitaisiin arvioida vihreän betonin kuivuvan normaalia betonia nopeammin. Taulukoissa 12–16 on esitetty betonien lämpötila, suhteellinen kosteus ja ikä viikkoina mittausajankohtana.

Taulukko 12. 60 % masuunikuonaa sisältävän vihreän betonin kosteusmittausten tuloksia

VL-60			
Mittaus pvm	Ikä (viikkoa)	RH %	Lämpötila (°C)
1.3.2013	4	91,2	13,4
8.3.2013	5	90,4	10,3
15.3.2013	6	88,5	9,5
21.3.2013	7	86,9	10,7
28.3.2013	8	85,6	14,5
12.4.2013	10	83,8	16,5
19.4.2013	11	82,5	16,4
3.5.2013	13	80,6	16,9

Taulukko 13. 65 % masuunikuonaa sisältävän vihreän betonin kosteusmittausten tuloksia

VL-65			
Mittaus pvm	Ikä (viikkoa)	RH %	Lämtötila (°C)
1.3.2013	4	91,9	14,5
8.3.2013	5	90,7	11,7
15.3.2013	6	89,7	10,3
28.3.2013	8	84	14,8
5.4.2013	9	84,2	17,5
25.4.2013	12	74,9	18,2

Taulukko 14. 70 % masuunikuona sisältävän vihreän betonin kosteusmittausten tuloksia

VL-70			
Mittaus pvm	Ikä (viikkoa)	RH %	Lämpötila (°C)
1.3.2013	4	92,1	15,2
8.3.2013	5	91,5	12,9
15.3.2013	6	91,6	12,3
28.3.2013	8	83,4	14,4
5.4.2013	9	82,9	16,3
25.4.2013	12	79,4	17,9

Taulukko 15. 75 % masuunikuonaa sisältävän
vihreän betonin kosteusmittausten tuloksia

VL-75			
Mittaus pvm	Ikä (viikkoa)	RH %	Lämpötila (°C)
1.3.2013	4	91,8	14,8
8.3.2013	5	91,5	12,3
15.3.2013	6	91,1	11,5
21.3.2013	7	85,6	12,4
28.3.2013	8	83,3	13,9
12.4.2013	10	82,8	15,8
19.4.2013	11	80,9	15,8
3.5.2013	13	79,1	17,2

Taulukko 16. Vertailubetonin eli normaalin
lattiabetonin kosteusmittausten tuloksia

LA			
Mittaus pvm	Ikä (viikkoa)	RH %	Lämpötila (°C)
1.3.2013	4	91,1	12,6
8.3.2013	5	91,2	9,8
15.3.2013	6	91,2	7,7
21.3.2013	7	91,3	10
28.3.2013	8	91,1	14,3
12.4.2013	10	88,1	16,4
19.4.2013	11	89,3	16,4
25.4.2013	12	87,3	17,8
3.5.2013	13	83,7	17,5

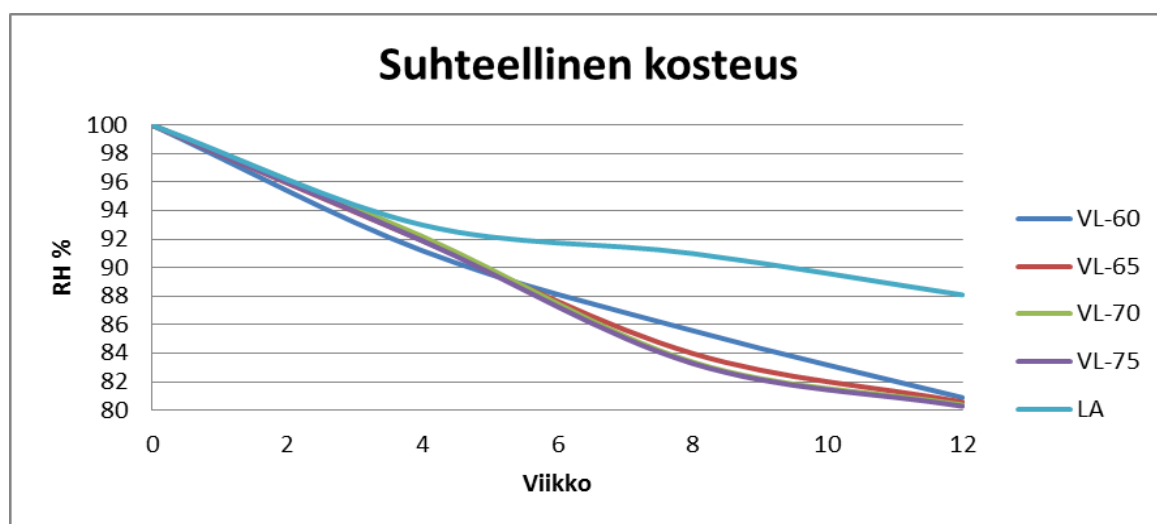
Taulukossa 17 on esitetty suhteellinen kosteus ja lämpötila huoneessa, jossa laattoja säilytettiin. Suhteellisen kosteuden mittaus porareikämenetelmällä toimii parhaiten, kun huoneilman lämpötila on +15 - +25 astetta. Mittausten alussa lämpötila on ollut sallittua arvoa pienempi ulkoilman lämpötilasta johtuen. Todennäköisesti huoneilman lämpötila ei ole vaikuttanut mittauksiin merkittävästi.

Taulukko 17. Huoneilman olosuhteet
mitattaessa laattojen suhteellista kosteutta.

Huoneilman olosuhteet			
Mittaus pvm	Ikä (viikkoa)	RH %	Lämpötila (°C)
1.3.2013	4	33	13,5
8.3.2013	5	28,3	10,5
15.3.2013	6	22,4	9,2
28.3.2013	8	25,5	15,2
5.4.2013	9	26,8	17,2
12.4.2013	10	30,9	19,5
19.4.2013	11	42,5	16,6
25.4.2013	12	30,6	17,9
3.5.2013	13	20,1	17,6

Tuloksiin vaikuttavia tekijöitä saattoi olla useita. Esimerkiksi laattojen eri sijainnit saattoivat aiheuttaa virhearvoja. Osaa laatoista säilytettiin lähellä ikkunaa ja osaa hieman kauempana sisätiloissa, sillä tila, jossa laattoja säilytettiin, oli melko pieni. Myös ikkunan läheisyydessä oleville laatoille saattoi tulla enemmän lämpötilavaihteluita, sillä mittaukset aloitettiin talvikaudella. Toisinaan aurinko paistoi suoraan joidenkin laattojen pintaan, joka saattoi osaltaan vaikuttaa laattojen kuivumiseen.

Kuviossa 2 näkyy vihreiden sekä normaalin lattiabetonin suhteelliset kosteudet käyrinä, joiden avulla vihreiden betonien ja vertailubetonin kuivumisen erot näkyvät selvemmin. Vaakatasossa on esitetty koelaattojen ikä viikkoina ja pystyasossa suhteellinen kosteus (RH %).



Kuvio 2. Betonien suhteelliset kosteudet eri ikäisinä

Taulukossa 18 on esitetty ennen pinnoitusta testattavan betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvot eri päällysteille. Kuitenkin aina tulee noudattaa ensisijaisesti päällysteen valmistajan antamia ohjeita.

Taulukko 18. Eri päällysteille edellytetyt betonin suhteellisen kosteuden enimmäisarvot. (Suomen betoniyhdistys 2004, 437.)

Betonin suhteellisen kosteuden (RH) enimmäisarvo	Päällyste
80 % Betonin pintaosien oltava alle 75 %	- Mosaiikkiparketti
85 %	- Lautaparketti - Huopa- ja solumuovipohjaiset muovimatot - Kumimatot - Korkkilaatat, laattojen alapinnassa kosteuden eristys - Tekstiilimatot, joissa alusrakenne - Luonnonmaterialista tehdyt tekstiilimatot ilman alusrakennetta
90 %	- Muovilaatat - Muovimatot ilman huopa- tai solumuovipohjaa - Linoleum - Alustaan kiinnittämättömät puulattiat, puun ja betonin välissä kosteuden eristys ja sen alla kosteuden poiskanaointi - Polyuretaanimuovimassat - Täyssynteettiset tekstiilimatot ilman alusrakennetta - Keraaminen laatoitus
97 %	- Epoksi-, akryyli- ja polyesterimuovimassat - Sementtipolymeeripinnoitteet

Lisäksi tehtiin By 1021 betonirakenteiden kuivuminen –laskentataulukon mukaisia laskelmia, jonka avulla saatiin kuivumisaika-arvioita. Näitä laskelmia pystyttiin hyödyntämään verratessa eri vesisideainesuhteiden kuivumisaikoja. Taulukkoon syötetään tarvittavat tiedot sekä rakenteesta että olosuhteista. Laskelmien mukaan vesisideaineen ollessa 0,63 kuivumisaika on noin 25 viikkoa ja vesisideaineen ollessa 0,73 kuivumisaika on noin 35 viikkoa. Laskelmien mukaan laattojen kuivuminen kestäisi paljon pidempään kuin kosteuden mittauksissa saatujen tulosten mukaan. Laskentataulukot on esitetty liitteissä 1 ja 2.

5.5 Betonin vesitiiviys

Betonin vesitiiviyyden määrittämistä varten tehtiin paineellisen vedentunkeuman kokeet Savonia-ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Testauksista saatiin tulokseksi 60% masuunikuonamäärällä 22 mm ja 75 % masuunikuonamäärällä 24 mm tunkeumasyvyyden. Tutkimusraportti on esitetty liitteessä 3.

Vihreiden betonien paineellisen vedentunkeuman kokeiden tulokset olivat hyviä verrattaessa sallittuun 100 mm arvoon. Normaalia lattiabetonista ei testattu vesitiiviyyttä, sillä se testataan joka

vuosi niin sanotusta huonoimmasta betonilaadusta. Esimerkiksi normaalisti kovettuvan betonin vedentunkeuma on 32 mm ja vihreän betonin tulokset olivat tähän verrattaessa hyviä.

Alla olevista kuvista koekappaleen alapuolella olevasta tummasta alueesta näkyy, kuinka vesi on tunkeutunut betoniin. Kuvassa 17 on vihreä betoni 60 % masuunikuonamäärällä ja kuvassa 18 75 % masuunikuonamäärällä. Koekappaleet olivat normaalin värisiä ulkoapäin, mutta kun koekappaleet halkaistiin, betoni oli normaalia tummempaa sisäpuolelta. Betonin tumma väri johtuu suuresta masuunikuonamäärästä, mutta se tasoittuu aikanaan.



Kuva 17. Vesitiiveyden mittaus 60 % masuunikuonamäärällä. Vesi on päässyt tunkeutumaan alareunassa näkyvään tummaan rajaan asti.

Kuva Noora Tuomainen



Kuva 18. Vesitiiveyden mittausta 75 % masuunikuonamäärällä. Vesi on päässyt tunkeutumaan alareunaan näkyvään tummaan raja-asteeseen.

Kuva Noora Tuomainen

5.6 Hiilijalanjälkilaskelmia

Lisäksi tehtiin Rudus Oy:n hiilijalanjälkilaskentataulukolla laskelmia vihreiden lattiabetonien hiilidioksidipäästöistä ja niitä verrattiin normaaliin lattiabetoniin. Laskentataulukkoon syötetään vihreän betonin sekä vertailubetonin resepti, jolloin se antaa molempien hiilidioksidipäästöt sekä vihreän betonin hiilidioksidipäästöt vertailubetonin päästöihin verrattuna. Tulokseksi saatiin vihreän betonin hiilidioksidipäästöjen olevan 60 %:n masuunikuonamäärällä 54% ja 75 %:n masuunikuonamäärällä 38 % vertailubetonin päästöistä. Taulukossa 19 on esitetty hiilidioksidipäästöt eri suhteituksille ja vihreiden betonien päästöjen osuus normaalista lattiabetonista.

Taulukko 19. Betonien hiilijalanjälkilaskelmat

Hiilijalanjälkilaskenta			
Suhteitus	Masuunikuonaosuus (%)	Hiilidioksidipäästöt (kg/m ³)	CO ₂ -päästöjen osuus vertailusuhteituksesta (%)
Vertailubetoni LA C25/30	0	212,3	100
VL-60 C25/30	60	115,3	54
VL-65 C25/30	65	103,3	49
VL-70 C25/30	70	91,9	43
VL-75 C25/30	75	80,5	38

Taulukossa 20 on esitetty betonin raaka-aineiden hiilidioksidipäästöjä. Sementti vaikuttaa betonin hiilidioksidipäästöihin eniten. Myös lisäaineiden valmistus vapauttaa paljon hiilidioksidia, mutta niitä käytetään vain pieninä määrinä betonissa. Seosaineiden käyttö ei lisää betonin hiilidioksidikuormaa kuin kuljetuksen osalta, sillä ne ovat muun teollisuuden sivutuotteita.

Taulukko 20. Betonin raaka-aineiden hiilidioksidipäästöt

Materiaalien CO ₂ -päästöt			
	kg/tonni		kg/tonni
Sementit		Vesi	0
Pikasementti	814	Liäaineet	
Rapidsementti	690	Notkistin	420
Yleissementti	676	Kuljetus	18
Plussementti	596	Huokostin	420
SR-sementti	730	Kuljetus	18
Kuljetus	6		
Seosaineet		Kiviaineet	
Lentotuhka	0	0/8 hieno	1,4
Kuljetus	1,2	0/8 karkea	1,4
Masuunikuona	0	8/16 kivi	1,4
Silika	0	16/32 kivi	1,4
Kuljetus	17,9	Kuljetus	7,1

6 POHDINTA JA YHTEENVETO

Opinnäytetyössä oli tavoitteena tutkia Rudus Oy:n markkinoille tuomaa vihreää betonia ja verrata sen ominaisuuksia normaaliin lattiabetoniin. Vihreiden ja normaalien lattiabetoneiden ominaisuudet eivät eroa toisistaan huomattavasti, mutta vihreiden betonien hiilidioksidipäästöt ovat selvästi normaalia betonia pienemmät, jopa yli 50 %.

Vihreiden betonien varhaislujuus on huomattavasti pienempi kuin normaaleilla lattiabetoneilla, mutta sen lujuus on jo lähellä tavoitelujuutta 28 vuorokauden iässä. Se kuitenkin täyttää ja ylittää tavoitelujuuden 91 vuorokauden iässä, jota pidetään sen lujuuden arvosteluikä. Pienemmän varhaislujuuden vuoksi vihreän betonin käyttö saattaa pidentää rakennusaikaa. Kosteusmittausten mukaan vihreän lattiabetonin pinnoitus olisi mahdollista aikaisemmassa vaiheessa kuin normaalilla lattiabetonilla, mutta tätä ominaisuutta on syytä tutkia enemmän tulosten varmistamiseksi.

Opinnäytetyön aihe on mielestäni ajankohtainen, sillä hiilidioksidipäästöjä pyritään vähentämään maailmanlaajuisesti ilmaston lämpenemisen vuoksi. Materiaalien valmistajat pyrkivät tekemään ilmaston kannalta parempia ratkaisuja ja vihreä betoni on yksi niistä. Betonin valmistuksen ja raaka-aineiden osalta erityisesti sementin valmistus tuottaa paljon hiilidioksidipäästöjä, joten sementin käytön vähentämisellä on suuri merkitys ilmaston kannalta. Tämä on huomattu myös ulkomailla.

Opinnäytetyössä tehtyjen kokeiden tulokset ovat alustavia tuloksia ja vihreää lattiabetonia tulee tutkia vielä tarkemmin jatkotutkimuksilla, jotta sen kaikki ominaisuudet saadaan selville. Vihreä betoni suunnitellaan kohdekohtaisesti, sillä eri kohteissa betonilta vaaditaan eri ominaisuuksia. Tutkimusten tulokset ovat vertailukelpoisia ja kattavat koko Suomen Rudus Oy:n valmisbetonitoiminnan. Muutamien virheiden vuoksi tutkimukset eivät onnistuneet parhaalla mahdollisella tavalla. Yksi suurimmista virheistä oli vertailubetonin annostelun epäonnistuminen, jonka seurauksena erityisesti kosteusmittausten tulokset eivät välttämättä ole vertailukelpoisia. Kaikesta huolimatta vihreä betoni on kilpailukykyinen ja varteenotettava vaihtoehto normaalin betonin rinnalla.

LÄHTEET

Anttilainen, M. 2002. *Betonilattioiden kulutuskestävyyssmittausmenetelmät*. Kuopio: Pohjois-Savon ammattikorkeakoulu, Tekniikka. Opinnäytetyö.

BASF. Betonin lisäaineet. Notkistavat betonin lisäaineet. Glenium Sky 600. [Viitattu 13.5.2013]
Saataavissa: <http://www.basf-cc.fi/>

Betoni. Tietoa betonista. Betoni ja kestävä kehitys. Betoni talonrakentamisessa. [Viitattu 1.3.2013]
Saataavissa: <http://www.betoni.com/>

Finnsementti. Sementti. Valmistus. [Viitattu 4.3.2013]
Saataavissa: <http://www.finnsementti.fi/>

Finnsementti. Tuotteet. Lisäaineet. [Viitattu 13.5.2013]
Saataavissa: <http://www.finnsementti.fi/>

Finnsementti. Tuotteet. Seosaineet. Masuunikuonajauhe KJ400. Tuote-esite Suomeksi. [Viitattu 6.3.2013]
Saataavissa: <http://www.finnsementti.fi/>

Finnsementti. Tuotteet. Seosaineet. Parmix-silika. [Viitattu 4.3.2013]
Saataavissa: <http://www.finnsementti.fi/>

Hakala, J. 2011. *Betonirakenteisten lattioiden vedenpitävyys ja jälkihoito*. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Tekniikka. Opinnäytetyö.

RT 14-10984 Betonin suhteellisen kosteuden mittaust 2010. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rudus Oy. Yritys. [viitattu 28.2.2013]
Saataavissa: <http://www.rudus.fi>

SFS-EN 12390-3 2009. Kovettuneen betonin testaus. Osa 3: Koekappaleiden puristuslujuus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry.

Suomalainen sementti kirjanen. [Verkkodokumentti]. Finnsementti. [Viitattu 10.4.013]
Saataavissa: www.finnsementti.fi/files/pdf/FS_Suomalainen_sementti_kirjanen_071112.pdf

Suomen betoniyhdistys. 2002. *Betonilattiat By 45*. Helsinki: Suomen betonitieto.

Suomen betoniyhdistys. 2004. *Betonitekniikan oppikirja By 201*. 5. uudistettu painos, lisäpainos. Helsinki: Suomen betonitieto.

Suomen betoniyhdistys. 2007. *Betonirakentamisen laatuohjeet By 47*. Helsinki: Suomen betonitieto.

Suomen betoniyhdistys. 2012. *Betoninormit By 50*. Helsinki: BY-Koulutus Oy.

Vihreä betoni. 2011. Rudus. [Viitattu 25.2.2013] Rudus intranet. Dokumentti yrityksen hallussa.

LIITTEET

Liite 1. Betonirakenteiden kuivumisen laskenta, kun vesisideainesuhde 0,63

Liite 2. Betonirakenteiden kuivumisen laskenta, kun vesisideainesuhde 0,73

Liite 3. Vesitiivyyden tutkimusraportti

Liite 4. Kulutuskestävyyden tutkimusraportti

BETONIRAKENTEIDEN KUIVUMISEN LASKENTA, KUN VESISIDEAINESUHDE 0,63

BY1021 v 1.2
Yhden käyttäjän lisenssi

10.5.2013 12:46

Betonirakenteiden kuivuminen

"Tarja Merikallio. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Betonikeskus 2002."

Kohde: **Kiinteistö Oy**

Maanvastainen teräsbetonilaatta

Kun olet ensin valinnut haluamasi rakennetyypin sivun alareunan taulukoista, syötät sitten arvot tavoitekosteudelle, vesi-sideainesuhteelle ja rakenteen paksuudelle. Valitse lisäksi vaihtoehdoista alusta, kastumisaika sekä kuivumisolosuhteista kosteus ja lämpötila. Kuivumisaika ilmoitetaan viikkoina. Kuivumisaajan lasketaan alkavan siitä kun rakenne ei enää saa lisäkosteutta. Jos jälkihoito tehdään kastelemalla, lasketaan aika kastelun lopettamisen jälkeen. Jos jälkihoito tehdään peittämällä, lasketaan aika valusta.

	Syöttöarvot	Raja-arvo	Peruskuivumisaika
Tavoitekosteus	80,0 %	"80-100"	24,0
Vesi-sideainesuhde	0,63	"0,4-0,7"	Kerroin 0,77
Rakenteen paksuus	100,0 mm	"70-150"	Kerroin 1,63

BY1021

Alusta

- ☒ Kuiva
☐ Muovi
☐ Märkä

Kastumisaika

- ☒ Kuivassa
☐ Kosteassa yli 2 viikkoa
☐ Kastunut yli 2 viikkoa

Kuivumisolosuhteet

Kosteus

- ☒ 35 %
☐ 50 %
☐ 60 %
☐ 70 %
☐ 80 %

Lämpötila

- ☐ 10 C
☒ 15 C
☐ 20 C
☐ 25 C
☐ 30 C

Kuivumisaika viikkoina:

24,9

BETONIRAKENTEIDEN KUIVUMISEN LASKENTA, KUN VESISIDEAINESUHDE 0,73

BY1021 v 1.2
Yhden käyttäjän lisenssi

10.5.2013 12:56

Betonirakenteiden kuivuminen

"Tarja Merikallio. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Betonikeskus 2002."

Kohde: **Kiinteistö Oy**

Maanvastainen teräsbetonilaatta

Kun olet ensin valinnut haluamasi rakennetyypin sivun alareunan taulukoista, syötä sitten arvot tavoitekosteudelle, vesi-sideainesuhteelle ja rakenteen paksuudelle. Valitse lisäksi vaihtoehdoista alusta, kastumisaika sekä kuivumisolosuhteista kosteus ja lämpötila. Kuivumisaika ilmoitetaan viikkoina. Kuivumisaajan lasketaan alkavan siitä kun rakenne ei enää saa lisäkosteutta. Jos jälkihoito tehdään kastelemalla, lasketaan aika kastelun lopettamisen jälkeen. Jos jälkihoito tehdään peittämällä, lasketaan aika valusta.

	Syöttöarvot	Raja-arvo	Peruskuivumisaika
Tavoitekosteus	80,0 %	"80-100"	24,0
Vesi-sideainesuhde	0,73	"0,4-0,7"	Kerroin 1,14
Rakenteen paksuus	100,0 mm	"70-150"	Kerroin 1,70

BY1021

<p>Alusta</p> <p><input checked="" type="radio"/> Kuiva</p> <p><input type="radio"/> Muovi</p> <p><input type="radio"/> Märkä</p>	<p>Kastumisaika</p> <p><input checked="" type="radio"/> Kuivassa</p> <p><input type="radio"/> Kosteassa yli 2 viikkoa</p> <p><input type="radio"/> Kastunut yli 2 viikkoa</p>
<p>Kosteus</p> <p><input checked="" type="radio"/> 35 %</p> <p><input type="radio"/> 50 %</p> <p><input type="radio"/> 60 %</p> <p><input type="radio"/> 70 %</p> <p><input type="radio"/> 80 %</p>	<p>Lämpötila</p> <p><input type="radio"/> 10 C</p> <p><input checked="" type="radio"/> 15 C</p> <p><input type="radio"/> 20 C</p> <p><input type="radio"/> 25 C</p> <p><input type="radio"/> 30 C</p>

Kuivumisolosuhteet

Kuivumisaika viikkoina:

35,3



LIITE 3.

1(1)

VESITIIVIYDEN TUTKIMUSRAPORTTI



				TESTAUSSELOSTUS N:o 13128-129		
Tilaaaja Rudus Oy Ostoreskontra PL 49 00111 HELSINKI				Tilaus 27.3.2013		
Väylänoikeus Opiinnäytelytutkimus Noora Tuomainen						
Betonikoekappaleet						
Muutti Kaikkiin						
Testaus Painollisen veden tiheysmittaus standardin SF5 EN 12390-8 mukaisesti.						
Vedenpaineen vaikutusmittaus Testauksen aloituspäivä				Valuunutta vastaan 2.4.2013		
TILAAJAN ILMOITTAMAT TIEDOT				TULOKSET		
Koekappaleen tunnus	Varmistuspäivä	Lujuus- ja tärähtävyys	Ikä d	Veden tiheys mm	Tihveys kg/m³	Huomautus
VL-60	1.2.2013	K30-1	60	22	2340	
VL-75	2.2.2013	K30-1	59	24,0	2350	
JAKELU 1 kpl tilaaja Rudus Oy Likolammentie 24 70160 KUOPIO				KUOPIO 5.4.2013 Savonia-ammattikorkeakoulu Rakennusalan tutkimus- ja yrityspalvelut Koetuslaitos Arto Piironen, koetuslaitoksen esimies Tapani Savolainen, tkn.		
Tämän selostuksen ostajien julkaiseminen on sallittu vain koetuslaitoksen antaman kirjallisen luvan perusteella.						

LIITE 4.

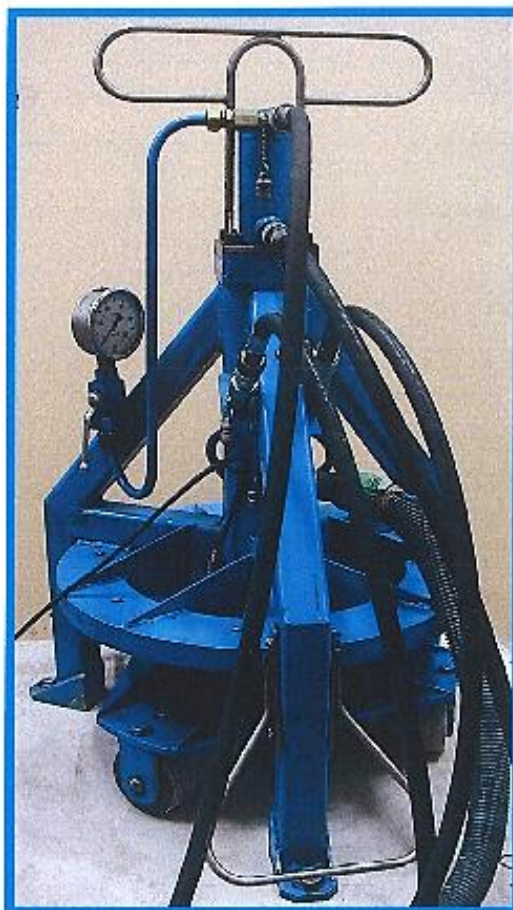
1(7)

KULUTUSKESTÄVYYDEN TUTKIMUSRAPORTTI

TESTAUSSELOSTE

Nro VTT-S-03331-13

14.5.2013



**Betonilaattojen BLY 7/by45 kohdan 1.4.2 mukaiset
kulutuspyöräkoheet**

Tilaaaja: Rudus Oy

Tilaaaja Rudus Oy, Likolammentie 24, 70460 Kuopio

Tilaus 21.2.2013, Noora Tuomainen

Yhteysthenkilö VTT Expert Services Oy
 Tuotepäällikkö Reijo Ylä-Mattila
 Kemistintie 3, Espoo PL 1001, 02044 VTT
 Puh. 020 722 6921, Faksi 020 722 7003
 Sähköposti reijo.yla-mattila@vtt.fi

Tehtävä Betonilaattojen BLY 7/by45 kohdan 1.4.2 mukaiset kulutuspyöräkkeet

Näytteet Kolme tilaajan toimittamaa betonilaattaa tunnuksin VL-60, VL-75 ja LA.

Tutkimuksen suoritus Kulutuskestävyys testattiin julkaisun BLY 7/by45, Betonilattiat 2000, kohdan 1.4.2.3 mukaisesti 7. ja 8.5.2013.

Tutkimustulokset Kulutuskestävyyden mittaustulokset on esitetty taulukossa 1. Valokuvat ja kulutuskoneen tuloslistaukset on esitetty liitteessä 1.

Taulukko 1. Kokonaiskuluminen kulutuskierrosten jälkeen

Koekappale Tunnus	Kokonaiskuluminen (mm)			
	100 r	300 r	500 r	800 r
VL 60	2,4	3,6	5,7	7,7
VL 75	2,2	4,9	7,3	
LA	2,6	4,7	6,3	

Koekappaleen VL 60 koe keskeytettiin liiallisen kulumisen vuoksi 800 kierroksen jälkeen ja koekappaleiden VL 75 ja LA kokeet keskeytettiin 500 kierroksen jälkeen.

Espoo 14.5.2013


 Reijo Ylä-Mattila
 Tuotepäällikkö


 Ari Ilanen
 Laboratorioteknikko

Liite Tulokset

Jakelu Tilaaaja Alkuperäinen
 Arkisto Alkuperäinen

Tutkimustulokset ovat ainoastaan tutkimuslaitteille

VTT Expert Services Oy:n tai VTT:n nimen käyttäminen mainoksissa tai muiden seostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT Expert Services Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.

Tulokset



Kuva 1. Kockappale VL-60 kokeessa.



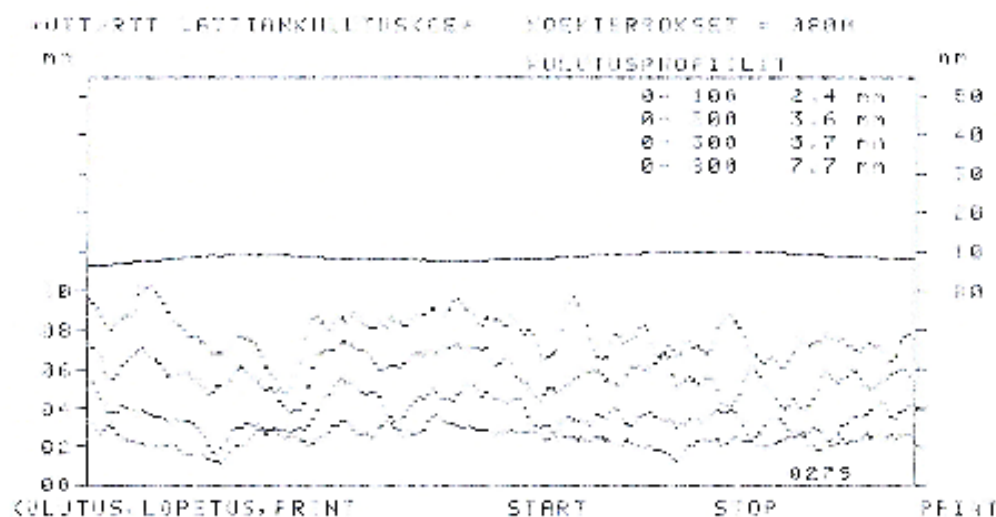
Kuva 2. Koekappale VL 60

Tulokset ovat päteviä ainoastaan tutkittuihin näytteisiin.

VTT Expert Services Oy:n tai VTT:n nimen käyttäminen mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT Expert Services Oy:stä saadun kirjallisen luvan perusteella.

LIITE 4.

4(7)



8.5.2013 / AL
VL-60
Valu 1.2.

Piirustus 1. Koekappaleen VL-60 kulutusprofiilit

VTT, RTT KULUTUSKOE NRO KOKKIERROKSET 8.5.2013 / AL

Tilaaja: VL-60

Koekappale: Valu 1.2.

Kokkierroksen kulumäärä: 2.4 mm

Kokkierroksen kulumäärä: 3.6 mm

Kokkierroksen kulumäärä: 5.7 mm

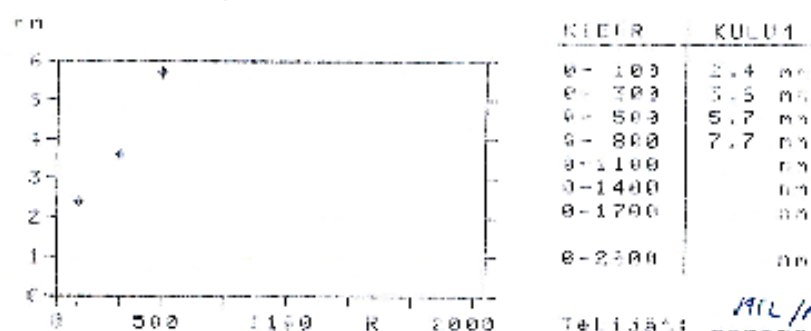
Kokkierroksen kulumäärä: 7.7 mm

Kokkierroksen kulumäärä: 11.0 mm

Kokkierroksen kulumäärä: 14.0 mm

Kokkierroksen kulumäärä: 17.0 mm

Kokkierroksen kulumäärä: 20.0 mm



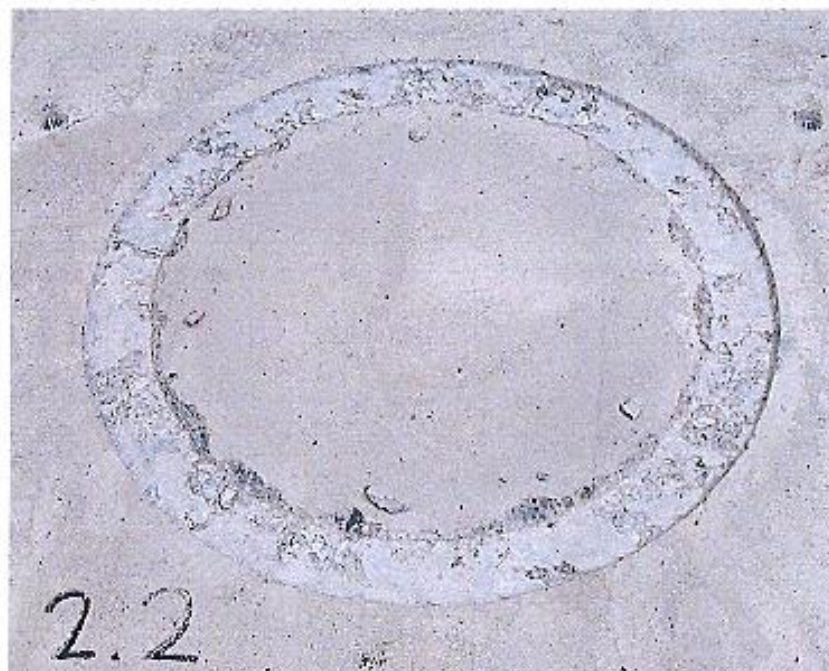
AL / AL

Piirustus 2. Koekappaleen VL-60 kuluminen

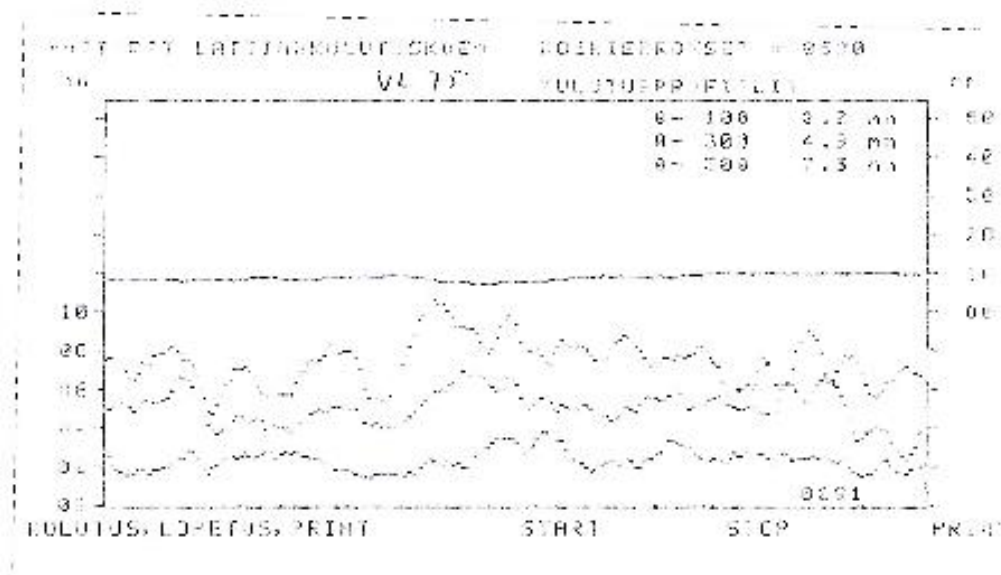
Tutkimustulokset pätevät ainoastaan tulkittu näytteille

VTT Expert Services Oy:n tai VTT:n nimen käyttäminen mainoksissa tai tämän asiakirjan osittainen julkaiseminen on sallittu vain

VTT Expert Services Oy:llä saadun kirjallisen luvan perusteella.



Kuva 3 Koekappale VL75



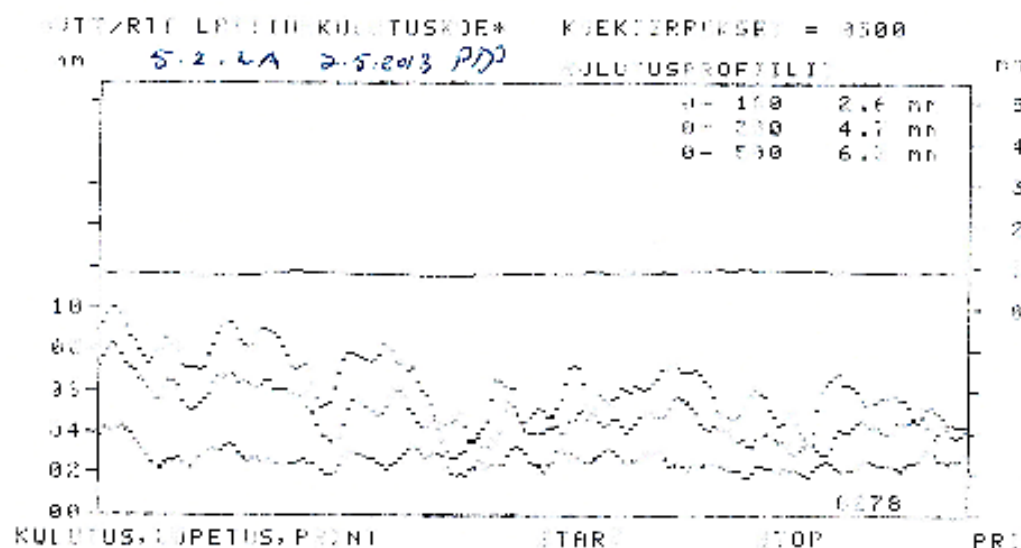
Piirustus 3. Koekappaleen VL-75 kulutusprofiilit

Tuotemerkkejä, tavaramerkkejä ja muita oikeuksia pidetään erikseen erillisinä.

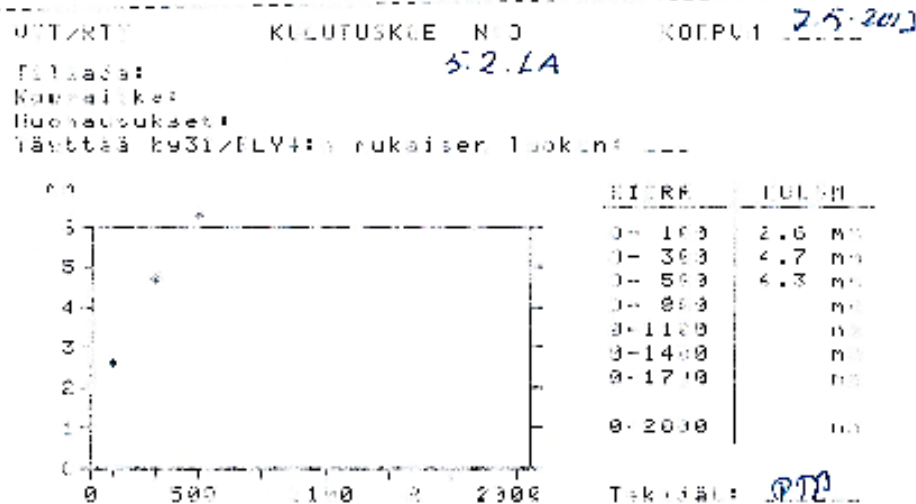
VTT Expert Services Oy:n tai VTT:n nimen käyttäminen mainoksissa tai tämän asiakkaan oheisen julkaisun on sallittu vain VTT Expert Services Oy:stä saadun kirjallisen luvan perusteella.

LIITE 4.

7(7)



Piirustus 5. Kockappaleen LA-kulutusprofiilit



Piirustus 6. Kockappaleen LA kuluminen

Tutkimusulokset pätevät ainoastaan tarkoitettuun käyttöön.

VTT Expert Services Oy:n tai VTT:n nimen käyttäminen mainoksissa tai lähtöselostuksen osittain julkaisemiseen on sallittu vain

VTT Expert Services Oy:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.